www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

15e JAARGANG No. 7, blz. 177-216 JULI 1953

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN LINEAIRE ELECTRONENVERSNELLER VOOR 15 MILLIOEN ELECTRONVOLT

door C. F. BAREFORD *) en M. G. KELLIHER **). 621.384.622.2

A. KEUZE VAN DE PARAMETERS EN ALGEMENE CONSTRUCTIE.
B. BESCHRIJVING VAN DE BELANGRIJKSTE ONDERDELEN EN SCHAKELINGEN.
C. BEPROEVINGSMETHODES EN PRESTATIES.

Het onderstaande artikel is het tweede van de serie over lineaire electronenversnellers die in dit tijdschrift wordt gepubliceerd. Sinds het verschijnen van het eerste artikel, waarin D. W. Fry van het Atomic Energy Research Establishment, Harwell, de grondslagen van de lineaire versneller met lopende golf uiteenzette, werd een door Mullard Research Laboratories geconstrueerde machine voor 15 millioen electronvolt in Harwell geïnstalleerd en in geregeld gebruik genomen. Bij deze machine laat men de verkregen electronenbundel op een geschikte trefplaat vallen waardoor neutronen worden geproduceerd. Op deze wijze gebruikt, kan de machine als de krachtigste pulserende neutronenbron worden beschouwd die (voor zover ons bekend) op 't ogenblik bestaat.

De grote verscheidenheid van problemen die bij de ontwikkeling van deze nog betrekkelijk nieuwe soort versnellers moest worden opgelost, deed het de redactie gewenst voorkomen voor de beschrijving van deze installatie meer ruimte uit te trekken dan gewoonlijk in dit tijdschrift aan een enkel onderwerp wordt verleend.

Inleiding

De kernphysici hebben met de lineaire electronenversneller een belangrijk nieuw instrument in handen gekregen. Met deze versneller kan men op betrekkelijk eenvoudige wijze en met een hoog rendement electronen met een energie van de orde van 10 millioen electronvolt of nog groter produceren. Vooral echter heeft men dank zij de korte duur en de grote stroomsterkte der geleverde electronenstoten in de lineaire versneller een ideaal middel om zeer korte stoten van neutronen op te wekken, die nodig zijn voor de neutronenspectroscopie volgens de looptijdmethode. Hierop heeft Sir John Cockcroft in 1949 gewezen [1]). De bedoelde methode is tegenwoordig van groot belang voor de bepaling van de werkzame doorsnede voor neutronenvangst of -verstrooiing, speciaal van materialen die men wil toepassen in atoomovens.

De eerste twee lineaire versnellers van het lopende-golftype die door de Mullard Research Laboratories werden ontworpen en gebouwd, waren dan ook beide in hoofdzaak bestemd voor kernphysische onderzoekingen van deze aard aan het Atomic Energy Research Establishment te Harwell. De eerste van deze versnellers was berekend voor 3,5 MeV; hij kwam geheel overeen met de versneller die door D. W. Fry en medewerkers was ontwikkeld en die in een voorafgaand artikel in dit tijdschrift is beschreven [2]). De tweede versneller (zie *fig. 1*),

*) Long Range Weapons Establishment, Salisbury, Australië; voordien verbonden aan Mullard Research Laboratories, Salfords, Engeland.
**) Mullard Research Laboratories, Salfords, Engeland.
[1]) J. D. Cockcroft, Nature **163**, 869, 1949.

[2]) D. W. Fry, Philips techn. T. **14**, 225-237, 1952 (No. 8-9). Dit artikel zal hier verder worden aangehaald als I.
Noot van de redactie: In het artikel I, op blz. 228, rechterkolom, regel 15, is sprake van de diameter *b*; evenzo in de onderschriften van fig. 3 en 6. Dit moet telkens zijn: straal *b*. Bij formule (2) en in het onderschrift van fig. 4 is sprake van de diameter *a*, hetgeen zijn moet: straal *a*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

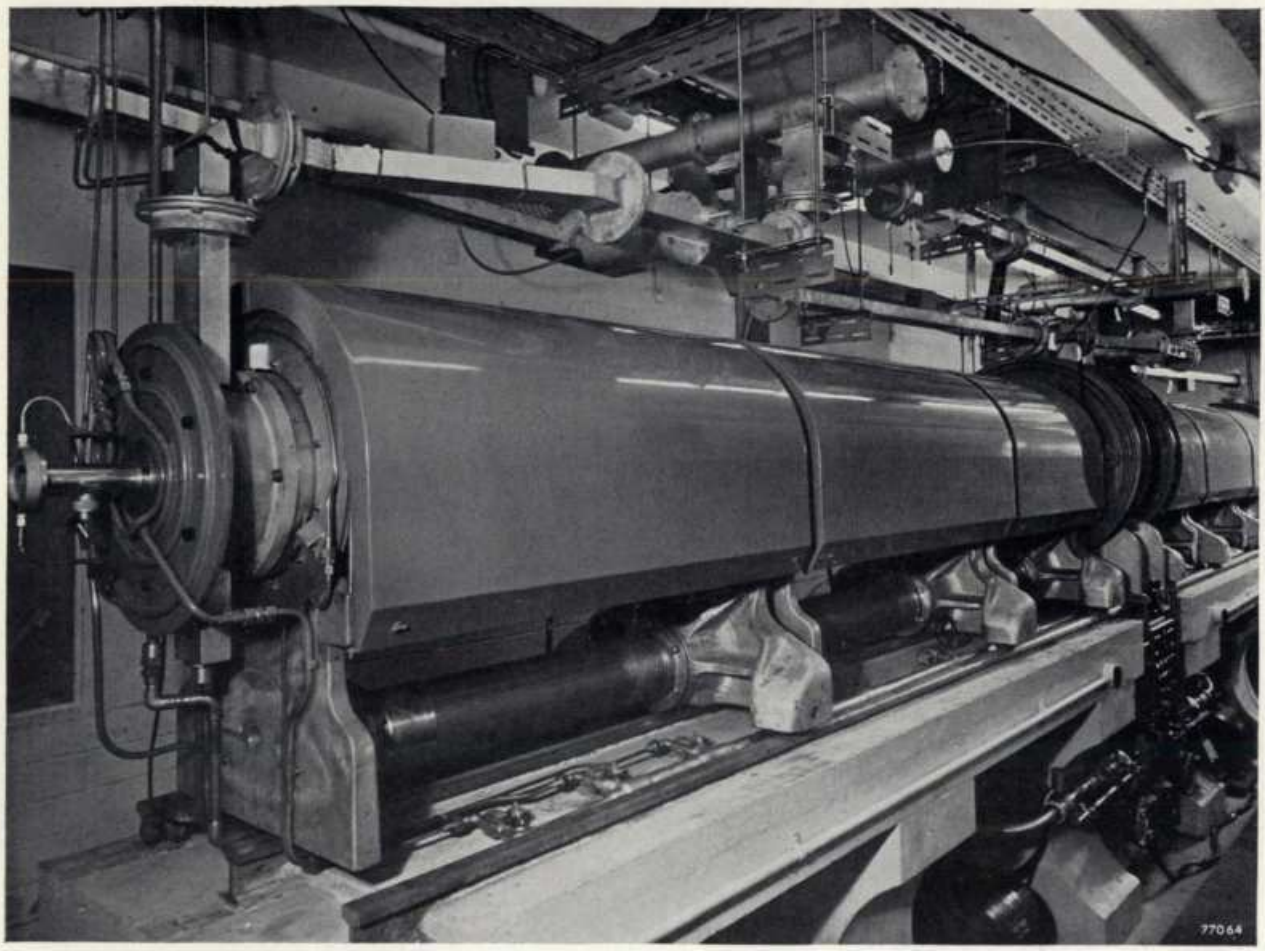


Fig. 1. De versneller voor 15 MeV in de betonnen schuilkelder van het Atomic Energy Research Establishment te Harwell, gezien van de zijde van de trefplaat. (Deze foto en de foto fig. 13*b* worden hier gereproduceerd met toestemming van de Comptroller van het Engelse Stationary Office.)

die in September 1952 in Harwell werd afgeleverd en die het onderwerp van dit artikel vormt, is berekend voor een energie van 15 MeV.

Hoewel dus deze machine (evenals de kleinere voor 3,5 MeV) voor kernphysisch werk bestemd was, is de constructie toch mede beïnvloed door de overweging dat lineaire electronenversnellers in de toekomst waarschijnlijk ook een belangrijke rol zullen spelen op medisch gebied, als bronnen van röntgenstralen voor de bestralingstherapie. Zelfs zou de medische toepassing van de lineaire versneller wel eens grotere omvang kunnen aannemen dan de physische. Uit hetgeen volgt, zal duidelijk worden dat de versneller voor 15 MeV zodanig werd geconstrueerd dat hij zonder ingrijpende veranderingen hetzij als een werktuig voor de kernphysicus of als apparaat in een inrichting voor bestralingstherapie dienst kan doen.

A. KEUZE VAN DE PARAMETERS EN ALGEMENE CONSTRUCTIE

Keuze der parameters

Algemene gezichtspunten

De constructie van een lineaire versneller voor een bepaald doel wordt door een groot aantal factoren bepaald, en zoals in het algemeen bij zulke problemen, komt de keuze der parameters neer op een compromis. Hoewel de meeste factoren die van invloed zijn, reeds in I werden besproken, zullen wij bij de bespreking van de keuze der parameters voor de 15 MeV-versneller de belangrijkste punten nog even ophalen.

Als grondslagen voor het ontwerp dienden de volgende gegevens: gestreefd moest worden naar een electronenenergie van 15 MeV en naar een stroomsterkte van de electronenbundel (tijdens de impuls) van 25 mA; de lengte van de geplooide golfpijp mocht niet veel groter zijn dan 6 meter,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

aangezien de betonnen schuilkelder waarin de machine, ter bescherming van het personeel tegen de sterke opgewekte straling, in Harwell moest worden geplaatst, niet meer ruimte bood; als meest geschikte bron voor het hoogfrequente vermogen stond een magnetron ter beschikking dat bij een frequentie van 3000 MHz impulsen van 1,8 MW vermogen levert.

In principe zou het gunstig zijn een nog hogere frequentie te kiezen. Dit volgt direct uit het verband dat bestaat tussen het vermogen W dat door de geplooide golfpijp stroomt waarin de golf en de electronen lopen, en de topwaarde van het versnellende veld E (vgl. I, formule 2; de formule geldt alleen als de fazesnelheid van de golf maar weinig kleiner is dan de lichtsnelheid):

$$E = (480\ W)^{\frac{1}{2}}\ \lambda/\pi a^2; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

a is de binnenstraal van de diafragma's in de geplooide golfpijp. Bij een gegeven waarde van het quotient a/λ, dat de belangrijkste parameter van de golfpijp is, betekent een hogere frequentie (kleinere golflengte λ) een sterker versnellend veld per eenheid van doorstromend vermogen (dwz. een hogere serie-impedantie van de golfpijp, vgl. I). Het is zeer wel mogelijk dat er in de toekomst magnetrons die voor hogere frequenties geschikt zijn, ter beschikking zullen komen. Toen echter het ontwerp voor de hier beschreven versneller werd gemaakt, kon men bij een frequentie van bijv. 10 000 MHz nog geen hogere topvermogens dan 100 kW bereiken, hetgeen voor ons doel veel te weinig is.

In I werd reeds uiteengezet dat men voor de keuze komt te staan tussen een lange golfpijp met lage serie-impedantie, die ongevoelig is voor frequentieveranderingen, en een korte golfpijp met hoge impedantie en met relatief grote gevoeligheid voor frequentieveranderingen. Het onvermijdelijke compromis wordt in gunstige zin beïnvloed als men met een terugkoppeling werkt: het vermogen dat de golfpijp binnenstroomt, is dan groter dan het vermogen van het magnetron en levert dus in een gegeven lengte, bij een zelfde impedantie, een grotere electronenenergie. Eveneens betekent dit dat een bepaalde electronenenergie kan worden bereikt met een golfpijp van dezelfde lengte doch met lagere impedantie (die dus minder frequentiegevoelig is). Toch zal het ook in dit geval nog wel kunnen blijken dat de frequentiegevoeligheid van de golfpijp zo groot is dat men met de gegeven stabiliteit van de hoogfrequentiebron niet uitkomt. Het zal dan nodig zijn de versneller bij eenzelfde totale lengte in twee of meer onafhankelijke systemen te verdelen, die uit een gemeenschappelijke bron worden gevoed, waarbij men dan de mogelijkheid heeft aan het eind van ieder systeem een correctie voor de ontstane fazeafwijking aan te brengen.

De beslissing of men de toegestane lengte van de golfpijp op een dergelijke wijze moet onderverdelen, wordt gecompliceerd door de vraag welke fractie van de topwaarde van het versnellende veld in de geplooide golfpijp men nuttig kan gebruiken. Om het belang van deze kwestie duidelijk te kunnen maken, is het noodzakelijk wat nader in te gaan op de beweging van de golf en het electron in de golfpijp. Kon men over een hoogfrequentiebron met zeer geringe frequentievariaties (bijv. 1 op 10^5) beschikken en kon men bij de bewerking en montage van de geplooide golfpijp een zodanige nauwkeurigheid bereiken dat de snelheden van het electron en de golf op alle punten van de electronenbaan vrijwel gelijk zijn (toleranties van $\pm 2\ \mu$ voor sommige afmetingen), dan zouden alle electronen die met de juiste snelheid en de juiste faze worden geïnjecteerd op de golftop kunnen rijden, dwz. zij konden worden versneld door het maximale axiale veld. In de practijk is de frequentiestabiliteit van het magnetron in het beste geval van de orde van 1 op 10^4 en het is economisch niet uitvoerbaar een geplooide golfpijp met kleinere toleranties dan $\pm 15\ \mu$ te vervaardigen. Het gevolg hiervan is dat men de electronen in een gebied moet laten lopen waar de axiale veldsterkte aan het toenemen is, en wel zodanig dat afwijkingen in de afmetingen van de golfpijp of in de frequentie, die de snelheid van de golf sneller doen toenemen dan die van het electron, niet tot gevolg hebben dat het electron in een instabiel gebied terecht komt (dat is in het gebied achter de golftop, waar de veldsterkte aan het afnemen is).

Bij de thans gebruikte golfpijpimpedantie is het mogelijk gebleken stukken golfpijp van 1 meter lang zo nauwkeurig te fabriceren dat de fazefout van de positie der electronen na het doorlopen van zulk een stuk niet groter dan 15° is. Een accumulatie van deze fazefout in opeenvolgende stukken kan men voorkomen door aan het eind van iedere meter van de golfpijp een corrigerend stukje golfpijp in te lassen. Een frequentieverandering van 1 op 10^4 (dat is 0,3 MHz) van het magnetron veroorzaakt een fazefout van dezelfde orde, zodat de totale fazefout bijv. in een pijp van 3 m lengte ongeveer 30° zou worden. Het is derhalve gebruikelijk de electronen 35° vóór de golftop te doen lopen, dwz. een stabiele faze $\Theta = 55°$ te kiezen. Dit betekent dat de versnellende veldsterkte

$$E_z = (480\ W)^{\frac{1}{2}}\ (\lambda/\pi a^2)\ \sin\Theta = (pW)^{\frac{1}{2}} \quad . \quad . \quad (2)$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

(met de afkorting $p = 480\,(\lambda/\pi a^2)^2 \sin^2\Theta$), die op het electron werkt, ongeveer 80 % van de topwaarde zal bedragen [3]).

Berekening der te verwachten prestaties

Voor een gekozen waarde van de golfpijpparameter a/λ kan men nu door integratie van E_z over de lengte L van de golfpijp, rekening houdende met de demping van het vermogen in de pijp, de uiteindelijke electronenenergie V berekenen. Is de bundelbelasting van de versneller gering, dwz. is het vermogen dat aan de electronenbundel wordt overgedragen, klein vergeleken bij het vermogen dat als warmte in de wanden van de geplooide golfpijp verloren gaat, dan wordt het doorstromende vermogen W op ieder punt gegeven door:

$$W = W_e\, e^{-2az}; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

W_e is het vermogen dat de golfpijp binnentreedt, a de dempingscoëfficient in neper/meter en z de afstand langs de golfpijp. Hieruit volgt:

$$V = \int_0^L E_z\,dz = \int_0^L (pW)^{\frac{1}{2}}\, e^{-az}\,dz,$$

en de energietoeneming per lengte-eenheid wordt:

$$\frac{V}{L} = (pW_e)^{\frac{1}{2}}\,\frac{1-e^{-aL}}{aL}. \quad \ldots \quad (4)$$

In de meeste practisch belangrijke gevallen mag echter de bundelbelasting niet worden verwaarloosd. Het vermogen dat de electronenbundel opneemt, kan bijv. een kwart bedragen van het vermogen dat in de wanden wordt geabsorbeerd. Een hernieuwde berekening van (3) en (4), waarbij rekening wordt gehouden met het vermogen dat de electronenbundel opneemt (bundelstroomsterkte I), leidt tot de vergelijkingen:

$$W^{\frac{1}{2}} = W_e^{\frac{1}{2}}\, e^{-az} - \frac{Ip^{\frac{1}{2}}}{2a}\,(1-e^{-az}) \quad \ldots \quad (5)$$

en

$$\frac{V}{L} = (pW_e)^{\frac{1}{2}}\,\frac{1-e^{-aL}}{aL} - \frac{Ip}{2a}\left(1-\frac{1-e^{-aL}}{aL}\right) \quad (6)$$

voor het doorstromende vermogen als functie van de plaats in de golfpijp en voor de energietoeneming per lengte-eenheid.

De vergelijkingen (5) en (6) kunnen als volgt worden afgeleid.

Het verlies van vermogen in een stuk ter lengte dz van de golfpijp is de som van het vermogen dat op de electronenbundel wordt overgedragen en de koperverliezen:

$$dW = -IE_z dz - W(1-e^{-2a\,dz}) = -IE_z\,dz - 2aW dz.$$

Drukt men hierin E_z met behulp van verg. (2) uit door W en integreert men tussen 0 (waar $W = W_e$) en z, dan krijgt men verg. (5).

Drukt men nu hierin W weer uit door E_z, dan komt:

$$E_z = (pW_e)^{\frac{1}{2}}\, e^{-az} - \frac{Ip}{2a}\,(1-e^{-az}),$$

hetgeen bij integratie over de lengte L en na enige herleiding tot verg. (6) voert.

Met behulp van verg. (6) kan men voor gegeven waarden van p, a en L de te verwachten electronenenergie berekenen [4]), mits men het vermogen W_e aan de ingang van de geplooide golfpijp kent. Bij een versneller zonder terugkoppeling is dit vermogen natuurlijk gelijk aan het vermogen W_m van het magnetron. Voor het geval dat terugkoppeling wordt toegepast (*fig. 2*), berekent men W_e als

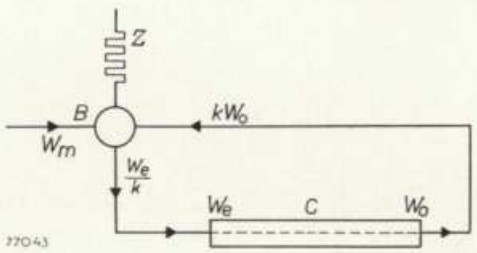


Fig. 2. Stroming van het vermogen in een lineaire versneller met terugkoppeling. C geplooide golfpijp, B terugkoppelvork, Z absorberende belasting, W_m vermogen dat van het magnetron aankomt, W_e het rondlopende vermogen, W_0 vermogen van de verzwakte golf aan het einde van de golfpijp.

volgt: Stel dat in de terugkoppelvork zelf geen vermogen verloren gaat, maar dat de koppelingen die het vermogen aan de ingang van de golfpijp toevoeren en het aan de uitgang er weer uithalen, een rendement k (< 1) hebben. Dan geldt:

$$W_e = kW_m + k^2 W_0;$$

W_0 is het vermogen aan het einde van de versneller, dat met behulp van verg. (5) door W_e kan worden uitgedrukt door $z = L$ te stellen. Elimineren wij W_0 uit deze twee vergelijkingen, dan krijgen we een vergelijking voor W_e en kunnen we de electronenenergie berekenen.

Conclusies uit de berekeningen

Op deze wijze zijn de prestaties bepaald die van de versneller bij verschillende constructies van de geplooide golfpijp kunnen worden verwacht. Enige resultaten zijn in *fig. 3* en *4* grafisch voorgesteld. Fig. 3 slaat op een golfpijp die niet onderverdeeld is, die voorzien is van terugkoppeling en waarbij

[3]) p zou men de gereduceerde impedantie van de golfpijp kunnen noemen: indien $\Theta = 90°$, is p gelijk aan de serie-impedantie van de pijp.

[4]) De vorm van verg. (6) is voor de numerieke berekening zeer geschikt, aangezien tabellen voor de functie $(1-e^{-x})/x$ bestaan: Miller en Rosebrugh, Trans. Roy. Soc. Canada (2) **9**, afd. III, 73-107, 1903; G. F. Hardy, Trans. Fac. Actuaries **8**, 57-86, 1918.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

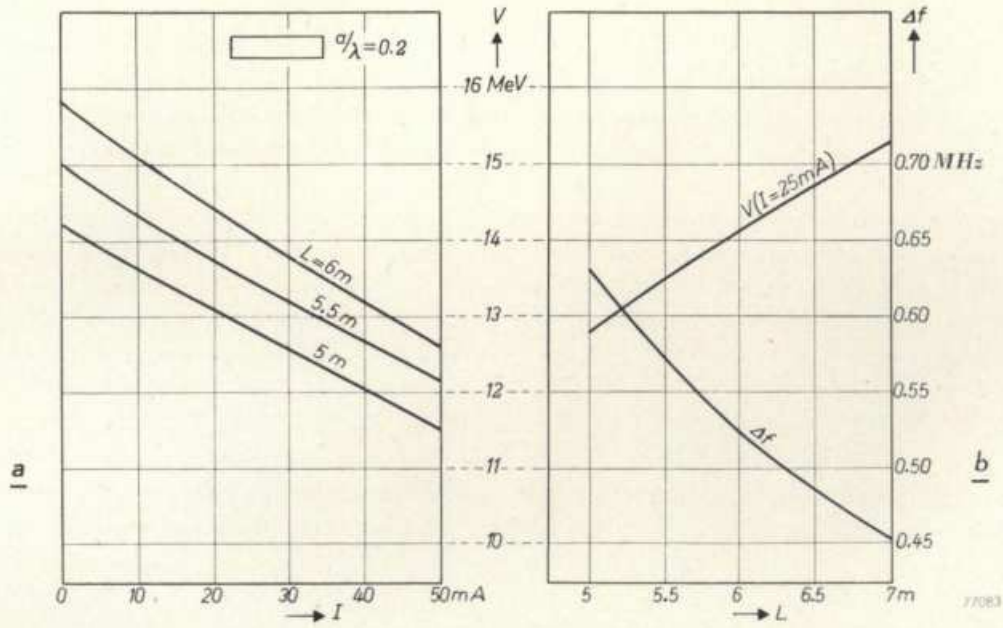


Fig. 3. Voorspelde prestaties van lineaire versnellers met terugkoppeling, bestaande uit één stuk, met golfpijpparameter $a/\lambda = 0{,}2$. Magnetronfrequentie = 3000 MHz, impulsvermogen van het magnetron 1,8 MW; het verlies in elke deurknopkoppeling bedraagt 5%, dus $k = 0{,}95$.

a) Verloop van de verwachte electronenenergie V als functie van de nominale bundelstroom I bij verschillende lengten L van de versneller.

b) Verwachte energie V bij een nominale bundelstroom van 25 mA als functie van de lengte L van de versneller; tevens is uitgezet de afwijking Δf van de magnetronfrequentie die een fazefout van 35° veroorzaakt.

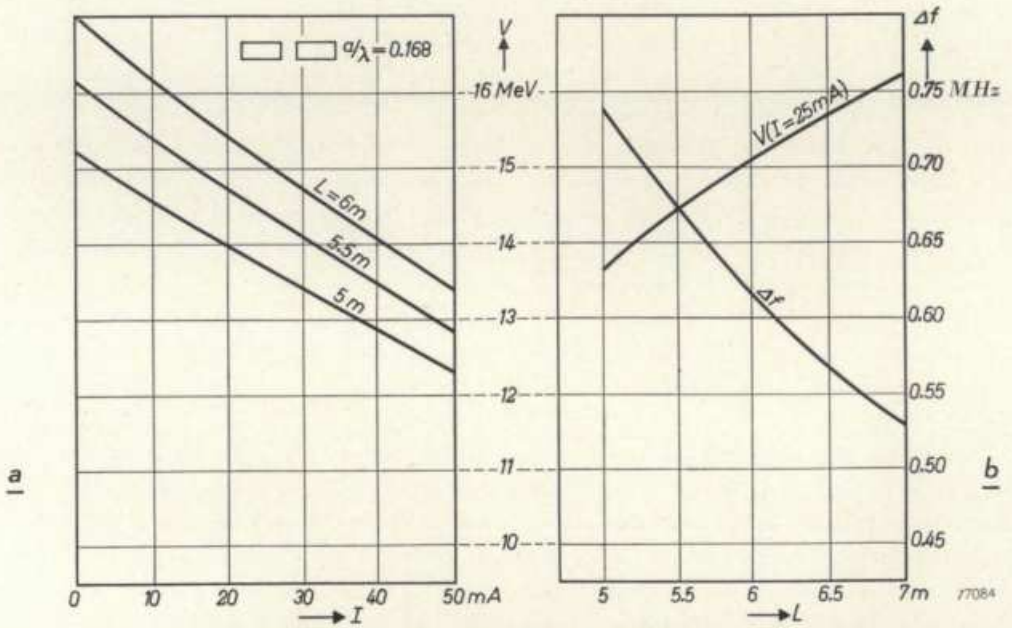


Fig. 4. Als fig. 3, voor lineaire versnellers met terugkoppeling, bestaande uit twee stukken en met $a/\lambda = 0{,}168$.

$a/\lambda = 0{,}2$. Fig. 3*a* laat zien hoe bij verschillende lengten van de golfpijp de electronenenergie verloopt met de bundelstroomsterkte [5]); fig. 3*b* geeft voor een bundelstroomsterkte van 25 mA de bereikte electronenenergie als functie van de lengte weer. In laatstgenoemde grafiek is ook de frequentie-

[5]) Deze krommen geven niet het verloop van de electronenenergie met de bundelbelasting van een werkelijke versneller weer. Ieder punt van de kromme geeft de prestatie aan van een bepaalde versneller, waarbij de golfpijp zo geconstrueerd is dat de golf in faze met de electronen blijft. Voor iedere versneller is ook aangenomen dat de terugkoppelverhouding n van de terugkoppelvork precies de juiste waarde kW_0/W_m heeft. Aangezien W_0 van de bundelbelasting zal afhangen en de verhouding n tijdens de werking van een versneller niet kan worden bijgeregeld, zal aan de laatstgenoemde voorwaarde in een werkelijke versneller zeker niet altijd zijn voldaan. De kromme die het verloop van de electronenenergie met de bundelbelasting bij een werkelijke versneller weergeeft, zal derhalve aan de desbetreffende curve in fig. 3*a* raken bij die bundelstroomsterkte waarvoor de versneller ontworpen is, terwijl bij kleinere en grotere bundelstroomsterkte de electronenenergie geringer zal zijn dan door de kromme wordt aangegeven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

afwijking Δf uitgezet die een fazefout van 35° teweegbrengt.

Fig. 4*a*,*b* toont hetzelfde als fig. 3, maar nu voor een geplooide golfpijp die is onderverdeeld in twee stukken, ieder met zijn eigen terugkoppellus, en waarbij $a/\lambda = 0{,}168$.

In de eerste plaats blijkt uit de grafieken dat wij bij de berekening van de uiteindelijke electronenenergie een fout van 1,5 à 2 MeV zouden hebben gemaakt als wij de invloed van de bundelbelasting hadden verwaarloosd.

Verder zien we, als we fig. 3 en 4 nader beschouwen, dat bij $a/\lambda = 0{,}2$ de grootste bundelstroomsterkte die in een 6 meter lange golfpijp bij een energie van 15 MeV kan worden verkregen, 12 mA bedraagt. Wil men aan de eis van 25 mA bundelstroomsterkte voldoen, dan wordt de energie slechts 14,15 MeV. De toelaatbare frequentieafwijking van het magnetron (voor een fazefout van 35°) bedraagt onder deze omstandigheden $\pm$ 0,527 MHz. Besluiten we ertoe de golfpijp langer te maken, dan kunnen wij 25 mA en 15 MeV bereiken bij $L =$ 6,73 meter, maar de toelaatbare frequentieafwijking is nu slechts $\pm$ 0,47 MHz.

Hoewel de frequentiegevoeligheid van de golfpijp van 6 meter en met $a/\lambda = 0{,}2$ op de grens is waarmee men practisch nog kan werken, zou men wel een dergelijke versneller kunnen bouwen, mits men met iets geringere prestaties wat betreft de electronenenergie of de bundelstroomsterkte genoegen neemt; anderzijds zou men door de golfpijp 6,73 meter lang te maken, de als doel gestelde electronenenergie en bundelstroomsterkte kunnen realiseren, maar de grote frequentiegevoeligheid die men dan heeft, zou het moeilijk maken de machine lange tijd achtereen zonder voortdurend toezicht in werking te houden.

Daarentegen ziet men uit fig. 4 dat een versneller die in twee stukken is onderverdeeld en waarbij $a/\lambda = 0{,}168$, reeds bij een lengte van 6 meter de bundelstroomsterkte van 25 mA bij 15 MeV kan leveren, bij een toelaatbare frequentieafwijking van $\pm$ 0,62 MHz. Op deze keuze werd dan ook het ontwerp gebaseerd. Aan de genoemde waarde van a/λ beantwoordt een diafragma-opening van de geplooide golfpijp van 1,68 cm straal.

In de eerste 30 cm van de golfpijp, waar het bundelen van de electronen (vgl. I) moet worden volbracht, is de situatie iets ingewikkelder. De invloed hiervan is in de bovenstaande berekeningen verwaarloosd.

Belangrijkste onderdelen van de versneller

Fig. 5 geeft een schematisch beeld van de werking van de versneller en toont het verband tussen de verschillende onderdelen van het golfpijpsysteem. *Fig. 6* geeft een overzicht van de opstelling van de versneller in de betonnen schuilkelder in Harwell; de bedieningslessenaar en een rek met de verschillende voedingsapparaten zijn op deze tekening niet aangegeven.

Als inleiding tot de gedetailleerde beschrijving, die in hetgeen volgt zal worden gegeven, laten wij aan de hand van fig. 5 en 6 de belangrijkste onderdelen van de installatie de revue passeren.

Het hoogfrequentievermogen dat door het magnetron wordt opgewekt, wordt door een rechthoekige golfpijp aan een T-stuk (T) toegevoerd, waar het in twee gelijke gedeelten wordt verdeeld; de twee gedeelten worden aan de terugkoppelvorken B_1 en B_2 toegevoerd die resp. tot het eerste en tweede versnellergedeelte C_1 en C_2 behoren. De faze van de aan B_2 toegevoerde golf kan met behulp van een fazedraaier P_0 worden ingesteld. Van elke terugkoppelvork wordt vermogen aan de ingang van het bijbehorende stuk van de geplooide golfpijp (C_1 en C_2) toegevoerd via de „deurknop"-toevoer D_i. Door regeling van P_0 geeft men de aan het stuk C_2 toegevoerde golf precies de juiste faze om de electronenpakketten die uit het stuk C_1 aankomen over te nemen. Het resterende vermogen van de verzwakte golf dat aan het einde van ieder stuk aankomt, wordt door de deurknopuitgang D_0 teruggevoerd aan de desbetreffende terugkoppelvork, waar het met het aankomende vermogen van het magnetron wordt samengevoegd. De juiste faze-instelling voor deze samenvoeging wordt bewerkstelligd met behulp van de fazedraaiers P_1 en P_2 en doorlopend gecontroleerd met behulp van golfpijpthermokoppels die het doorstromende vermogen aan in- en uitgang van de geplooide golfpijpen C_1 en C_2 meten.

Het magnetron (type VX 4061) levert, zoals boven werd vermeld, een impulsvermogen van 1,8 MW. Zijn frequentie wordt met behulp van een reflectiepen en een fazedraaier op de juiste waarde ingesteld [6]). Het magnetron heeft een magneetveld van de orde van 0,15 Wb/m² (1500 gauss) nodig. Dit veld moet instelbaar zijn, aangezien voor ieder exemplaar van een gegeven type magnetron een individuele gunstigste waarde blijkt te bestaan. In plaats van een permanente magneet wordt daarom een electromagneet gebruikt, die met gestabiliseerde

[6]) We kunnen in dit artikel niet uitvoerig ingaan op details van de gebruikelijke magnetron- en golfpijptechniek. Voor zulke details zij de lezer verwezen naar bijv. C. G. Montgomery, R. H. Dicke en E. M. Purcell, Principles of microwave circuits. M.I.T. Radiation Series No. 8, Mc Graw Hill, New York 1948. Zie ook: W. Opechowski, Philips techn. T. **10**, 14-26 en 46-54, 1948, en A. E. Pannenborg, Philips Res. Rep. **7**, 131-157, 169-188 en 270-302, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stroom wordt gevoed. De vereiste impulsen van hoogfrequent vermogen worden verkregen door aan het magnetron spanningsimpulsen van de orde van 40 tot 50 kV en met een duur van 2 μsec toe te voeren uit de modulator (*Mod* in fig. 6). Het impulsvermogen dat door de modulator moet worden geleverd, hangt van het rendement van het magnetron af en kan (bij een minder goed exemplaar) tot 5 MW bedragen.

blijven vergeleken bij andere mogelijke fouten, bijv. veroorzaakt door de eindige duur van de electronenimpuls. Bij de tegenwoordige uitvoering ontvangt het electronenkanon, dat de electronen aan de geplooide golfpijp levert, zijn anodespanningsimpulsen tegelijk met het magnetron van de modulator. Het is echter mogelijk dat in toekomst kortere electronenimpulsen zullen worden gebruikt. Daarom werd besloten voor de modulator een tijdfout

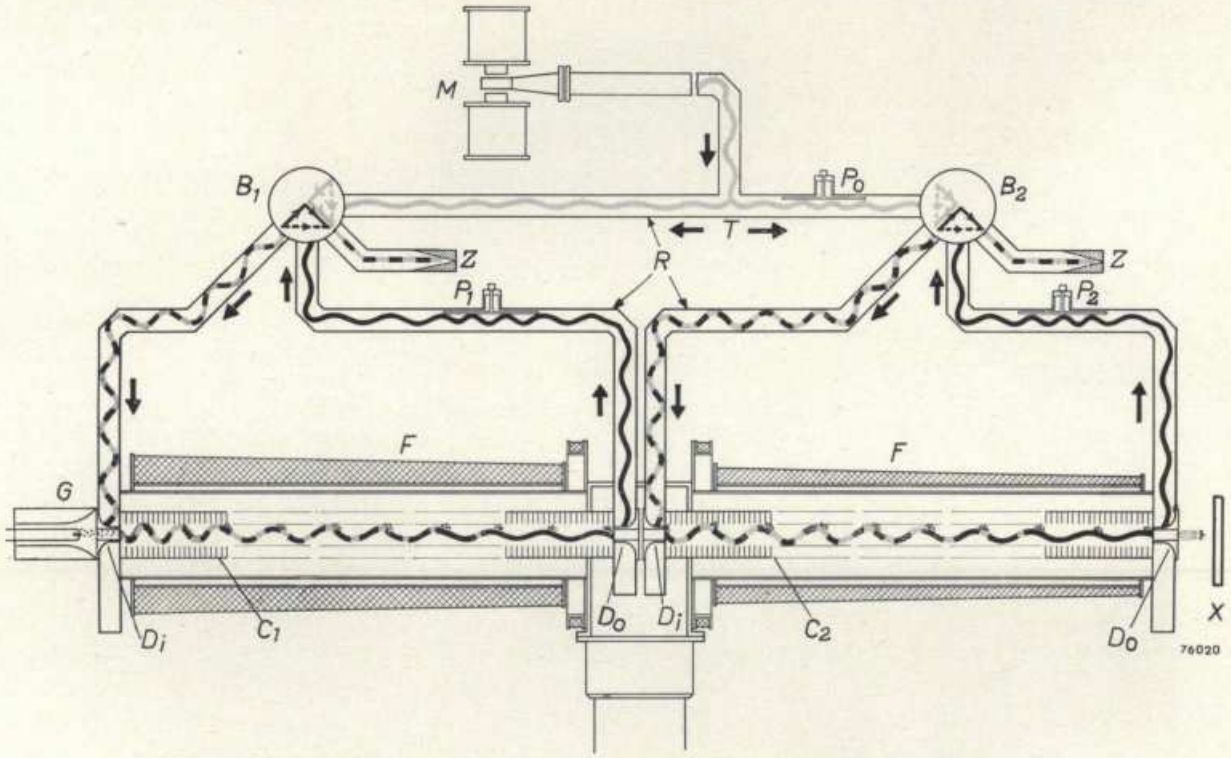


Fig. 5. Schematische voorstelling van de werking van de versneller voor 15 MeV. C_1, C_2 zijn de twee stukken van de geplooide golfpijp, met deurknopkoppelingen D_i en D_0 aan de ingang resp. de uitgang, het electronenkanon G en de focusseerspoelen F. M is het magnetron, N het rechthoekige-golfpijpsysteem met splitsing in T, terugkoppelvorken B_1, B_2, belastingen Z en fazedraaiers P_0, P_1, P_2. Het vermogen dat van het magnetron aankomt (W_m) is door de grijze golflijnen aangeduid, het verzwakte vermogen dat uit elk stuk van de golfpijp terugkomt (W_0) door de zwarte golflijnen; deze vermogens worden in de terugkoppelvorken bijeengevoegd en aan de ingangsdeurknoppen van ieder stuk van de versneller toegevoerd (grijze-en-zwarte golflijnen). Nadat de electronen in het eerste stukje van de geplooide golfpijp C_1 gebundeld zijn, lopen zij verder in een stabiele fazepositie, iets vóór de golftoppen, tot aan de trefplaat X.

De werking van de modulator berust daarop dat een impulsvormend netwerk wordt geladen en vervolgens door een ignitron via een impulstransformator wordt ontladen. In zoverre komt de modulator overeen met radarmodulatoren voor groot vermogen; hij verschilt hiervan echter doordat de opeenvolging van de impulsen in de tijd hier veel nauwer luistert dan bij radar. Immers een variatie van het tijdstip waarop de modulator zijn impuls geeft, heeft bij de neutronenspectroscopie volgens de looptijdmethode een onzekerheid in de gemeten neutronenenergie ten gevolge [7]). Deze onzekerheid moet klein („tijdritsel") van de orde van slechts 0,1 μsec toe te laten.

De gloeistroom van het electronenkanon is gestabiliseerd, aangezien de ervaring met de 3,5 MeV-versneller aangetoond had, dat zowel de bundelstroomsterkte als de opbrengst aan röntgenstralen zeer gevoelig is voor kleine veranderingen van deze gloeistroom. Voor deze stabilisatie is een speciale schakeling uitgewerkt, waarbij een „magnetische diode" wordt gebruikt.

De aanzienlijke defocusserende krachten die op de electronenbundel werken, vooral in het eerste gedeelte van de geplooide golfpijp, worden geneutra-

[7]) T. I. Taylor en W. W. Havens, Nucleonics **5**, 6, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

liseerd door middel van focusseerspoelen. Deze beslaan de gehele lengte van de golfpijp en wekken een axiaal magnetisch veld van een zodanige waarde op dat de electronen gedwongen worden op een schroeflijn langs de as van de geplooide pijp te lopen.

De golfpijp moet geëvacueerd worden tot een druk lager dan 10^{-5} mm kwik, ten einde de vrije weglengte groter te maken dan de lengte van de baan die de electronen moeten afleggen (6 meter). Aldus wordt een vermindering van de bundelstroom (het was dan niet nodig geweest het systeem rigoureus vacuumdicht te maken), maar we hadden dan een golfpijpvenster moeten ontwikkelen dat in staat was het drukverschil van 2 tot 3 atmosferen uit te houden en tevens een vermogen van gemiddeld 1 kW ($^1/_2 \times$ 1,8 MW bij een werkfractie tot 1 : 1000) zonder veel verliezen door te laten. Het leek daarom toch de eenvoudigste oplossing het gehele systeem tot aan het magnetronvenster te evacueren.

Het vacuumsysteem bevat een enkelvoudige

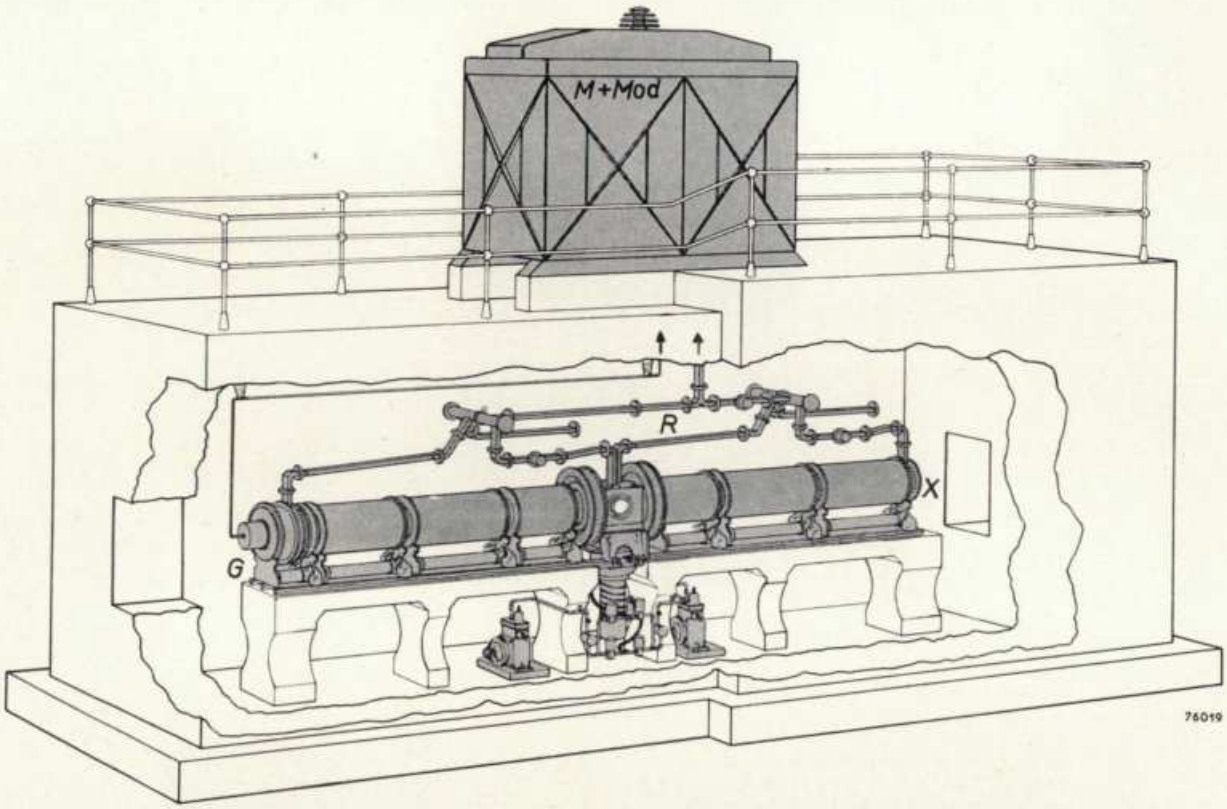


Fig. 6. Overzicht van de plaatsing van de 15 MeV-versneller in de schuilkelder te Harwell. De onderdelen zijn met dezelfde letters aangeduid als in fig. 5. Boven op de schuilkelder zijn het magnetron *M* en de modulator *Mod* ondergebracht. Bij de werkelijke uitvoering is het magnetron in een afzonderlijke kast opgesteld. Let ook op de voedingslijn naar het electronenkanon.

door botsingen met gasmoleculen vermeden. Tevens wordt door de lage druk het gevaar van doorslagen in de geplooide golfpijp, waarin electrische velden met topwaarden van de orde van 30 kV/cm optreden, uitgeschakeld.

Met het gevaar van een doorslag moest ook rekening worden gehouden bij het rechthoekige-golfpijpsysteem. Om dit gevaar op te heffen, stond men hier voor de keuze de golfpijp te evacueren (tot ongeveer 10^{-4} mm kwik) of ze met gas te vullen tot een druk van 2 of 3 atmosferen [8]). Een golfpijpsysteem met een overdruk was heel aanlokkelijk

[8]) Het alternatief beantwoordt aan de keuze van een voldoende hoog gelegen punt hetzij links, hetzij rechts van het minimum der bekende Paschen-kromme.

22,5 cm-diffusiepomp met een pompsnelheid (zonder dampvanger gemeten) van 1500 l/sec. Het pompen van de geplooide golfpijp zou van één of van beide einden uit kunnen geschieden, doch de grote stromingsweerstand van zulk een pijp met diafragma's zou een sterk drukverval in de pijp doen optreden. Eventueel zou aldus op de het verst van de pomp (of pompen) verwijderde punten van de pijp geen voldoend lage druk worden bereikt. Daarom werd besloten, de geplooide golfpijp niet in de lengterichting doch radiaal te pompen. De pijp is daartoe door een vacuummantel omgeven, die een grote doorsnede voor het pompen biedt, en iedere cel van de golfpijp (zie hieronder) is aan de omtrek van vier gaten voorzien waardoor de lucht

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

binnen de plooien naar opzij wordt afgezogen.

Tot besluit van dit korte overzicht der belangrijkste onderdelen keren wij nog even naar fig. 6 terug en wijzen erop dat de modulator en het magnetron boven op de betonnen schuilkelder zijn geplaatst. Hoewel er niet voldoende ruimte in de schuilkelder was om het magnetron en de bijbehorende golfpijpgedeelten daarin onder te brengen, zijn deze op de genoemde wijze toch althans zo dicht mogelijk bij de versneller geplaatst, ten einde de demping van het vermogen van het magnetron in de rechthoekige golfpijp zo klein mogelijk te houden. Bij 3000 MHz is het verlies aan vermogen in een stuk rechthoekige golfpijp van bijv. 10 meter lang van de orde van 10%. Terwijl zulk een verlies voor een radarinstallatie zonder meer kan worden toegelaten, zou het voor de werking van een versneller zeer ongewenst zijn. Immers, een daling van het vermogen met 10% doet de veldsterkte en dus ook de electronenenergie met 5% dalen.

Daar de versneller een zeer sterke straling opwekt (van de orde van 2000 röntgen/minuut op 1 meter afstand van de trefplaat), moesten de wanden van de schuilkelder dik genoeg worden gemaakt om de straling op alle punten waar het bedieningspersoneel voortdurend aan het werk is, tot een toelaatbaar niveau terug te brengen. De wanden en het dak van de schuilkelder zijn van bariumbeton gemaakt (dit bevat o.a. bariumsulfaat, dat dank zij zijn grote dichtheid röntgenstralen sterk absorbeert) en de wanden zijn in de buurt van de trefplaat ca. $1^1/_2$ meter dik.

Algemene mechanische opbouw

Voor de mechanische constructie van de versneller was als een der belangrijkste punten vooropgesteld dat de machine gemakkelijk moest kunnen worden opgebouwd, voor eventuele herstelwerkzaamheden gedemonteerd, en vervolgens weer opgebouwd zonder dat het nodig zou zijn de aanvankelijke justeringswerkzaamheden opnieuw uit te voeren. Hoewel het verder de natuurlijkste oplossing is de geplooide golfpijp (met haar vacuummantel en de focusseerspoelen) van onderen te steunen, moest rekening worden gehouden met de eis dat voor medische toepassing van de versneller de ruimte beneden de trefplaat vrij moet kunnen worden gehouden voor het onderbrengen van de patient.

Om aan deze eisen te voldoen, werd besloten de golfpijp in stukken van 1 meter lang te verdelen, die ieder afzonderlijk op een driewielig wagentje werden gemonteerd. Op twee tafels van gewapend beton zijn rails gelegd, waarop de zes wagentjes in de juiste positie worden gerold (*fig.* 7). Tussen de

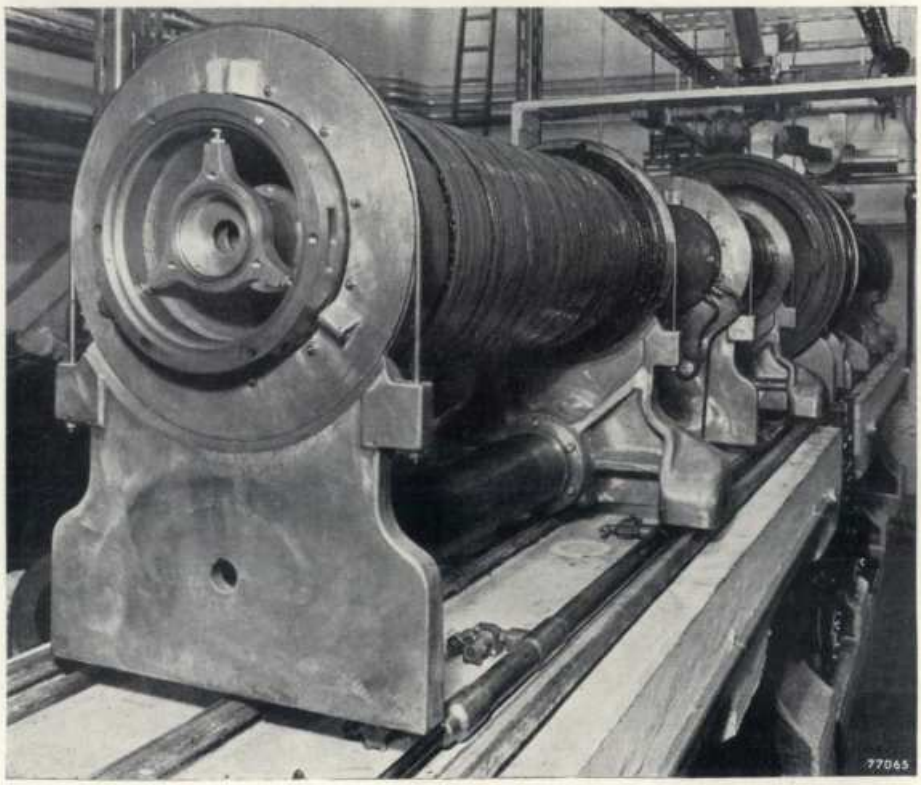


Fig. 7. Wagentje, gereed voor aansluiting aan de rest van de versneller. Men ziet duidelijk de geplooide golfpijp met een der driearmige centreerstukken waarmee zij in de vacuummantel wordt gemonteerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

twee tafels is een vast middenstuk opgesteld, dat de diffusiepomp draagt (zie fig. 6). Deze opzet laat de mogelijkheid open de wagentjes (of alleen die welke zich het dichtst bij de trefplaat bevinden) desgewenst in hangende positie te monteren.

Fig. 8 toont het middenstuk A en de twee hierop aansluitende wagentjes T_1 en T_2. Het middenstuk is uit een aluminium smeedstuk vervaardigd; met het oog op het gewicht en de prijs werd aan aluminium de voorkeur boven messing gegeven, en aangezien het middenstuk deel uitmaakt van de vacuummantel, werd een smeedstuk verkozen boven een gietstuk, waarbij het gevaar van gietgallen of porositeit bestaat. Het middenstuk moet ook de deurknopkoppelingen D dragen die tot de twee gedeelten C_1, C_2 van de geplooide golfpijp behoren. Ieder wagentje bestaat in hoofdzaak uit twee aluminium eindstukken, die bovenaan door het lichaam F van de focusseerspoel en onderaan door een buis K op afstand worden gehouden. Het wagentje heeft aan het ene eind twee wielen met enkele flens, aan het andere eind een middenwiel met dubbele flens. Dank zij deze ondersteuning op drie punten kan de golfpijp nooit wankel komen te staan, resp. kunnen geen spanningen hierin optreden, hoe de rails ook liggen. De nauwkeurigheid waarmee de drie rails, die vast op de betonnen tafels worden bevestigd, vlak moeten worden gelegd, hangt samen met de speling die voor het justeren van de wagentjes beschikbaar is.

Fig. 7 laat zien op welke wijze een wagentje aan het reeds gerede gedeelte van het systeem wordt aangesloten. De vacuummantel bestaat uit een koperen buis van 0,6 mm wanddikte. Op de buis

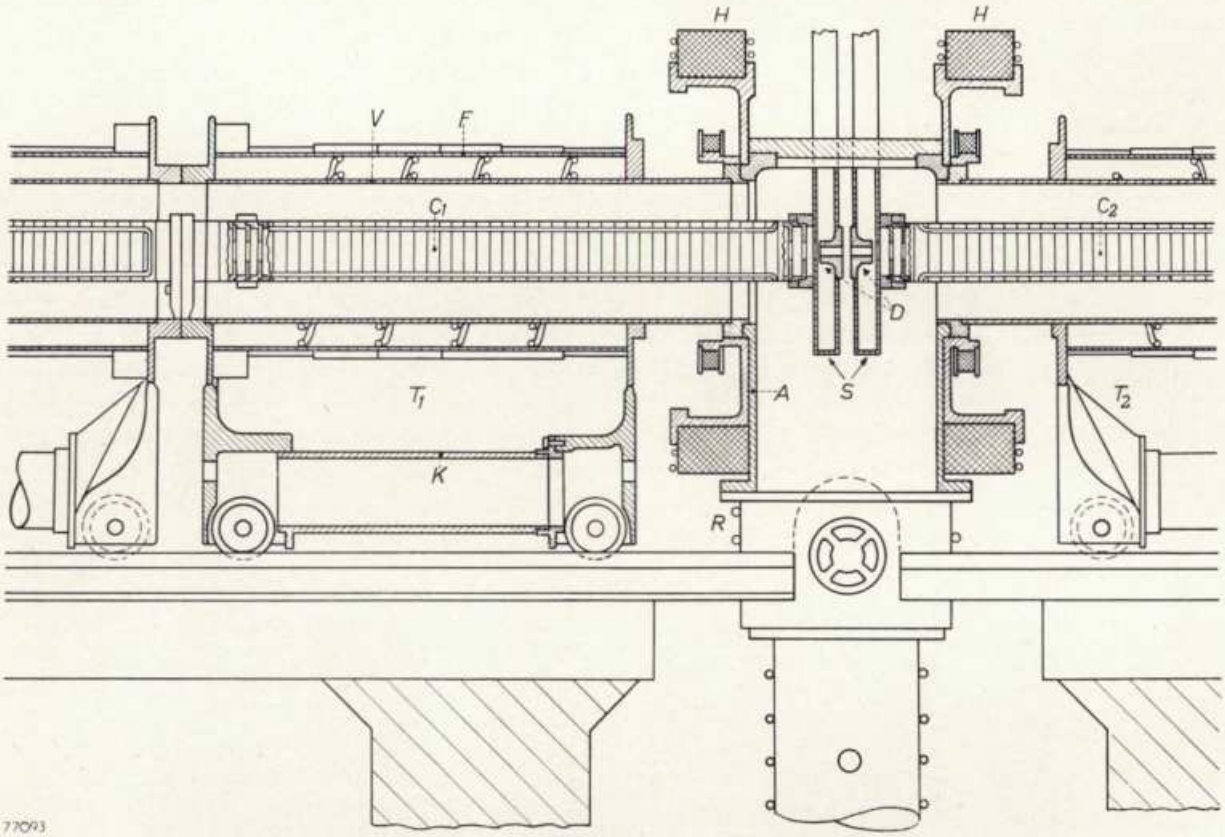


Fig. 8. Middenstuk A en de hierop aansluitende wagentjes T_1, T_2 van de versneller. F zijn de lichamen van de focusseerspoelen, K buisstukken, C_1, C_2 gedeelten van de geplooide golfpijp, V vacuummantel, D deurknopkoppelingen, S spleten in de rechthoekige golfpijpen, H Helmholtz-spoelen, O oliediffusiepomp, R gedeelte van mantel met speciale koeling.

zijn met hard soldeer flenzen van een sterk, niet magnetisch materiaal bevestigd (hiervoor is Deltabrons gekozen, dat veel sterker dan messing is). Ieder gedeelte van de vacuummantel wordt met drie, op de flenzen bevestigde, verstelbare schroeven binnen het lichaam van de bijbehorende focusseerspoel gemonteerd. Dank zij deze schroeven kunnen de gedeelten van de vacuummantel nauwkeurig in één lijn worden gebracht. Ieder stuk ter lengte van 1 meter van de geplooide golfpijp wordt op zijn beurt op soortgelijke wijze in de vacuummantel gemonteerd met behulp van driearmige centreerstukken met justeerschroeven, die zich aan beide einden bevinden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Met deze beschrijving zijn wij reeds bij de details van de werkelijke uitvoering beland. We komen daarmee tot het tweede gedeelte van dit artikel (B), waarin de boven opgesomde belangrijkste onderdelen nader zullen worden beschreven en een groot aantal detailproblemen die bij de ontwikkeling van de installatie moesten worden opgelost, ter sprake zullen komen. In het derde gedeelte (C) zullen de resultaten worden besproken die met de versneller zijn behaald en de methodes waarmee deze resultaten zijn gemeten.

B. BESCHRIJVING VAN DE BELANGRIJKSTE ONDERDELEN EN SCHAKELINGEN

De geplooide golfpijp

Mechanische constructie

De resultaten die met de versneller kunnen worden behaald, hangen goeddeels af van het juiste functionneren van de geplooide golfpijp. De constructie hiervan moest zorgvuldig worden overwogen, om met niet al te hoge fabricagekosten de gewenste hoedanigheden te verkrijgen.

De belangrijkste voorwaarden zijn: de afwerking van het oppervlak en de verbinding tussen opeenvolgende gedeelten moeten zodanig zijn dat de demping gering blijft; de diameter van de pijp moet op nauwkeurig bepaalde wijze met de axiale afstand variëren, zodanig dat de voorgeschreven variatie van de fazesnelheid wordt gerealiseerd [9]); ten slotte mogen geen onregelmatigheden optreden in de binnendiameter en de onderlinge afstand der plooien, waardoor staande golven zouden kunnen ontstaan. De laatste voorwaarde is van belang, niet vanwege het veroorzaakte verlies aan vermogen (dit bedraagt slechts 0,06 dB bij een staandegolfverhouding van 0,8) doch vanwege het feit dat zulke staande golven de speling bij het afstemmen van het magnetron sterk verminderen.

De geplooide golfpijp is opgebouwd uit cellen, waarvan *fig. 9a* de algemene vorm weergeeft. Voor het grootste gedeelte van de golfpijp werd een afstand der plooien („lengte" der cellen) van $w = 2$ cm gekozen; deze keuze is een geschikt compromis tussen de eisen dat het veld tussen de plooien zo goed mogelijk gelijkvormig moet zijn en dat het aantal tussenwanden niet al te groot moet zijn om niet te grote koperverliezen te introduceren (vgl. I). Voor het eerste stuk van de golfpijp echter, waar de electronen gebundeld moeten worden en waar de fazesnelheid van de golf binnen een afstand van slechts 30 cm moet variëren van 40% tot 90% van de lichtsnelheid, was een kleinere plooiafstand noodzakelijk. De eerste 30 cm van de golfpijp zijn derhalve uit cellen van 1 cm lengte opgebouwd. Hierop volgen nog twee speciale cellen van 1 cm, die voor de aanpassing tussen de 1 cm- en de 2 cm-cellen dienen. De rest van de golfpijp bestaat geheel uit 2 cm-cellen. De fazesnelheid verloopt van 90% van de lichtsnelheid na de eerste 30 cm van de golfpijp tot 99,8% aan het eind van het eerste stuk van 3 meter lengte, en vervolgens tot 99,95% aan het einde van de gehele versneller. Om dit verloop van de fazesnelheid, van 90 tot 99,95% van de lichtsnelheid, teweeg te brengen, moet de diameter der cellen (buitendiameter der plooien) slechts 0,2 mm variëren. De cellen worden aan elkaar gevoegd door middel van insteekverbindingen, zoals in fig. 9*b* is te zien; op de rand van het insteekstuk is een groef aangebracht, waarin een ring van soldeer kan worden gelegd.

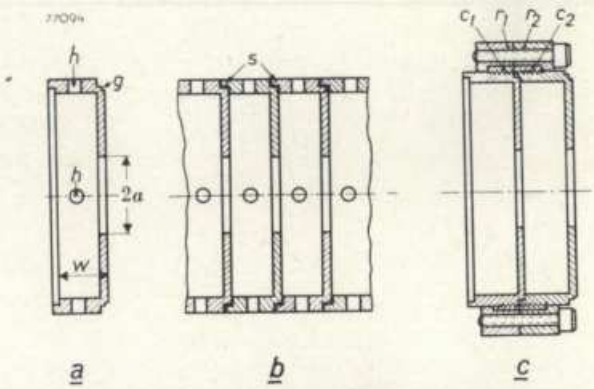


Fig. 9. *a*) Een van de 316 cellen waaruit de geplooide golfpijp is opgebouwd. Er komen twee soorten cellen voor, nl. met een breedte w van resp. 2 cm en 1 cm. g is een groef voor een ring van soldeer, h zijn pompgaten, a is de binnenstraal van de diafragma's.
b) Insteekverbinding van twee cellen. s is een laagje soldeer.
c) Verbinding van twee stukken golfpijp door ringen r_1 en r_2 die op moeren c_1, c_2 passen.
De in (*b*) en (*c*) weergegeven verbindingen zijn van belang om overgangen met geringe hoogfrequentieweerstand te verkrijgen.

Uitvoerige proeven zijn gedaan om een geschikte methode voor het bewerken en het samenbouwen van de cellen te vinden. De volgende werkwijze bleek ten slotte goed te voldoen. Als uitgangsmateriaal dient zeer zuiver koper in bandvorm met een breedte van $12^1/_2$ cm en een dikte van 0,6 cm. Van dit band worden door koud persen in

[9]) Het ontwerp van de golfpijp werd in de details uitgewerkt door W. Walkinshaw van het Atomic Energy Research Establishment, Harwell.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een 75-ton-pers schalen gemaakt (zie *fig. 10*). De persstukken worden dan tot op 0,25 mm van de uiteindelijke afmetingen afgedraaid. Vervolgens moeten de spanningen in het materiaal, die door het

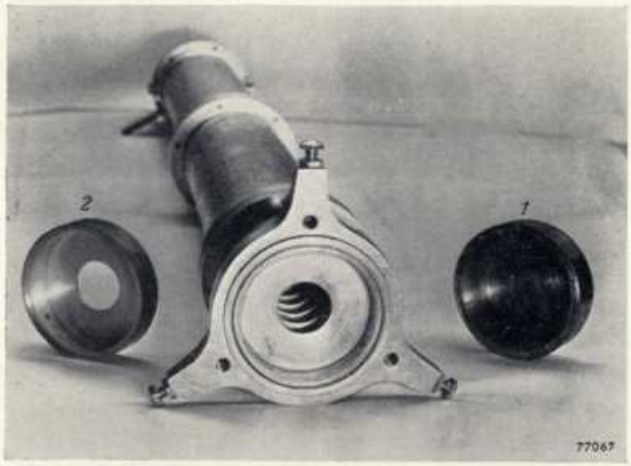


Fig. 10. Gedeelte van de geplooide golfpijp met centreerstuk. *1* is een koud geperste schaal waaruit een cel (*2*) wordt gedraaid. Let op de pompgaten in *2*.

koud vervormen waren ontstaan, worden opgeheven. Zou men dit niet doen, dan loopt men kans dat bij de fijne afwerking aanzienlijke fouten in de afmetingen optreden. Het opheffen van de spanningen geschiedt door verhitten op 800 °C in een reducerend gas (90% N_2 + 10% H_2). De verhitting heeft tevens tot doel het koper in de nabijheid van het oppervlak grondig te zuiveren van de nog aanwezige zuurstof [10]); het belang hiervan zal straks duidelijk worden.

Hierna worden de cellen fijn afgedraaid met toleranties van $\pm$ 10 μ bij 20 °C op alle inwendige afmetingen en op het insteekstuk. Er zij op gewezen dat het van groot belang is de contrôle van de celafmetingen bij de juiste temperatuur uit te voeren, aangezien een temperatuurafwijking van 5 °C bij het meten van de pijpdiameter reeds een afwijking groter dan de tolerantie zou veroorzaken.

Na de bewerking worden de cellen ontvet en tot een stapel aan elkaar gevoegd. Nadat men in de hiervoor aangebrachte groeven ringen van soldeer (eutectische koper-zilverlegering) heeft gelegd, wordt de stapel in een atmosfeer van zuivere stikstof tot 780 °C verhit. Hierna wordt gedurende enkele minuten het genoemde reducerende gasmengsel toegelaten, waarbij door de waterstof de vereiste zuivering van het oppervlak voor het solderen wordt bewerkstelligd. Ten slotte wordt de golfpijp weer langzaam in een stikstofatmosfeer afgekoeld. Op deze wijze wordt een goede verbinding der cellen met een geringe weerstand voor de hoogfrequente stromen verkregen. Opgemerkt zij dat het oppervlak van het koper bij het solderen geheel vrij van zuurstof dient te zijn, daar anders door de inwerking van de waterstof schilfers op het oppervlak ontstaan die de hoogfrequentiedemping aanzienlijk vergroten.

Van ieder stuk golfpijp dat op deze wijze is vervaardigd, wordt de fazesnelheid gecontroleerd door aan het ene eind een kortsluitplaat aan te brengen en hoogfrequentievermogen van 3000 MHz aan het andere eind toe te voeren, zodat er staande golven in het systeem kunnen ontstaan. De golflengte — waaruit men de fazesnelheid kan afleiden — wordt bepaald door achtereenvolgens bij iedere cel een kleine lus in een van de pompgaten te brengen en op deze wijze de veldverdeling op te nemen. Op grond van de verkregen gegevens over de fazesnelheid werden in de 15 MeV-versneller op vier plaatsen van de geplooide golfpijp correctiestukken van 10 cm lengte aangebracht.

Met dezelfde opstelling wordt de demping gemeten, door via deurknopkoppelingen aan beide einden van het stuk golfpijp er vermogen doorheen te laten stromen en het gemiddelde peil van het vermogen op verschillende punten in de pijp te bepalen.

Opeenvolgende stukken van de geplooide golfpijp worden weer met insteekverbindingen aan elkaar gezet en stevig tegen elkaar aangedrukt met behulp van twee ringen, die op de in fig. 9*c* weergegeven wijze op de uiterste cellen zijn aangebracht. Aan het einde van de eerste, tweede, vierde en vijfde meter van de gehele lengte zijn deze ringen vervangen door de eerder vermelde driearmige centreerstukken, die er toe dienen het desbetreffende stuk van de golfpijp in de vacuummantel te monteren en te centreren. Een stuk van de golfpijp met een centreerstuk is in fig. 10 afgebeeld. De einden van ieder der beide drie meter lange helften van de 15 MeV-versneller worden ondersteund door de deurknopkoppelingen.

Waterkoeling

Bij de grootste herhalingsfrequentie der impulsen kan het vermogen dat in de geplooide golfpijp wordt gedissipeerd, tot 300 watt per meter lengte bedragen. Daar het aanrakingsoppervlak van de justeerschroeven waarmee de pijp in de vacuummantel wordt gecentreerd, noodzakelijkerwijze zeer klein is, vindt er behalve aan de deurknopkoppelingen op geen enkel punt een behoorlijke warmteafvoer plaats. Laat men de versneller enkele uren werken, dan zal de golfpijp dus flink warm kunnen worden,

[10]) Engelse octrooi-aanvrage 23322/1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

en aangezien een verandering van slechts 10 °C in de gemiddelde temperatuur reeds een fazefout van 30° tussen de golf en het electron teweeg zou brengen, is het noodzakelijk de golfpijp van een waterkoeling te voorzien. Hiertoe zijn koelpijpen op de golfpijp aangebracht, die een groot aanrakingsoppervlak ermee hebben en die de temperatuurstijging binnen 2 °C houden.

Doordat de golfpijp en de vacuummantel aan hun einden stijf met elkaar verbonden zijn, zou een temperatuurverandering van de mantel tot gevolg hebben dat de golfpijp, die op constante temperatuur blijft, onder druk of onder trek komt te staan, dwz. dat ongewenste mechanische spanningen in het systeem optreden. (Er zou ook een fazefout ontstaan, doch deze zou zeer gering blijven, aangezien het alleen een verandering in de lengte betreft, waarvoor een 20 maal zo grote tolerantie geldt als voor de diameter.) Men zou het ongewenste effect kunnen vermijden door een expansie-element in de vacuummantel op te nemen, maar een eenvoudiger oplossing bestaat daarin, het koelwater van de golfpijp aan een koelspiraal toe te voeren die op de vacuummantel gesoldeerd is en die er voor zorgt dat beide op dezelfde temperatuur blijven. Alvorens het water wordt afgevoerd, doorloopt het dan nog het systeem van de focusseerspoelen, waarop we hieronder terugkomen.

Voor iedere meter lengte van de versneller is een eigen koelwatercircuit met deze drievoudige koelfunctie aangebracht.

Het electronenkanon

Het electronenkanon is een vereenvoudigd kanon volgens Pierce, dat een vrijwel parallelle bundel van electronen in de geplooide golfpijp schiet. De electrodenconfiguratie is in *fig. 11a* te zien. Een direct verhitte, uit een vlakke wolfraamspiraal bestaande, gloeikathode bevindt zich juist binnen de top van een focusseerelectrode in de vorm van een afgeknotte kegel. De anode is geaard, en aan de kathode worden spanningsstoten van −45 kV van de modulator toegevoerd. Het kathodesysteem wordt geïsoleerd en gedragen door een plaat van glas dat door inwendige spanningen is versterkt (toughened).

De ervaringen met de 3,5 MeV-versneller hebben geleerd dat op een gemiddelde levensduur van de kathode van de orde van 150 uren kan worden gerekend, maar dat uit de werking van de versneller geen enkele aanwijzing kan worden verkregen of de kathode reeds het einde van haar levensduur nadert. Het kan dus gebeuren dat de kathode midden in een lange proef moet worden verwisseld. Moest men voor het verwisselen van de kathode de hele versneller weer met lucht laten vollopen, dan zou men na het inzetten van de nieuwe gloeidraad ongeveer 2 uur moeten wachten totdat de druk weer laag genoeg geworden is om de versneller in werking te kunnen stellen.

Om deze tijdverspilling te vermijden, werd tussen het electronenkanon en de vacuummantel van de eigenlijke versneller een vacuumafsluiter aangebracht [11]). De afsluiter bestaat uit een plaat die op de vlakke anode van het electronenkanon kan glijden (fig. 11*b*). In het anodelichaam en in de glijplaat zijn gaten geboord voor de doortocht van de electronen en voor het pompen; deze gaten staan tegenover elkaar indien de afsluiter geopend is.

[11]) Engelse octrooi-aanvrage 1060/1953.

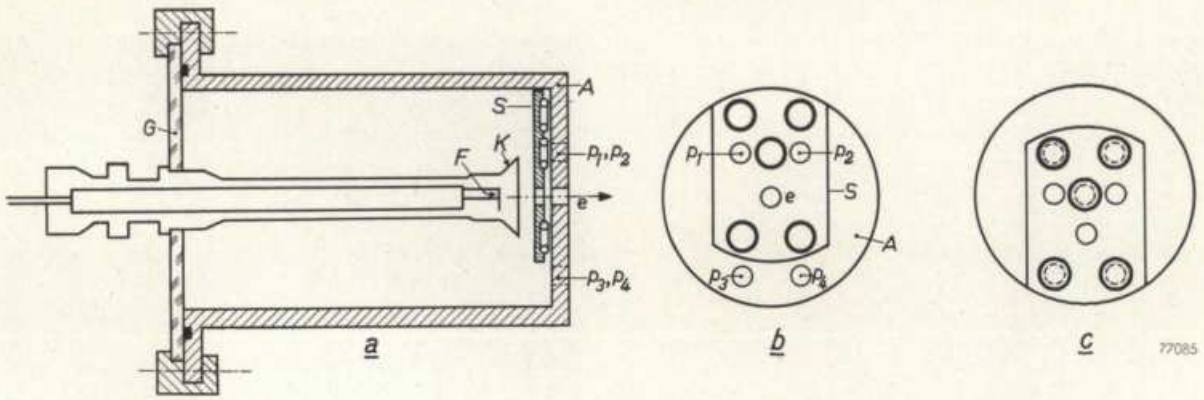


Fig. 11. *a*) Het electronenkanon is van het type ontwikkeld door Pierce. *F* uitwisselbare direct verhitte wolfraamkathode in de vorm van een vlakke spiraal, *K* focusseerelectrode, *A* vlakke anode met gat voor het doorlaten van de electronen, *G* isolerende glasplaat, *S* glijplaat van de vacuumafsluiter.

In de open positie van de afsluiter (*b*) staan drie zowel in de anodeplaat als in de glijplaat aangebrachte gaten, nl. *e* voor de electronen en p_1, p_2 voor het pompen, achter elkaar, en de pompgaten p_3, p_4 van de anode zijn eveneens vrij. In de gesloten positie (*c*) zijn de vijf gaten van de anodeplaat door „Neoprene" ringen, die in groeven van de glijplaat worden vastgehouden, afgesloten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

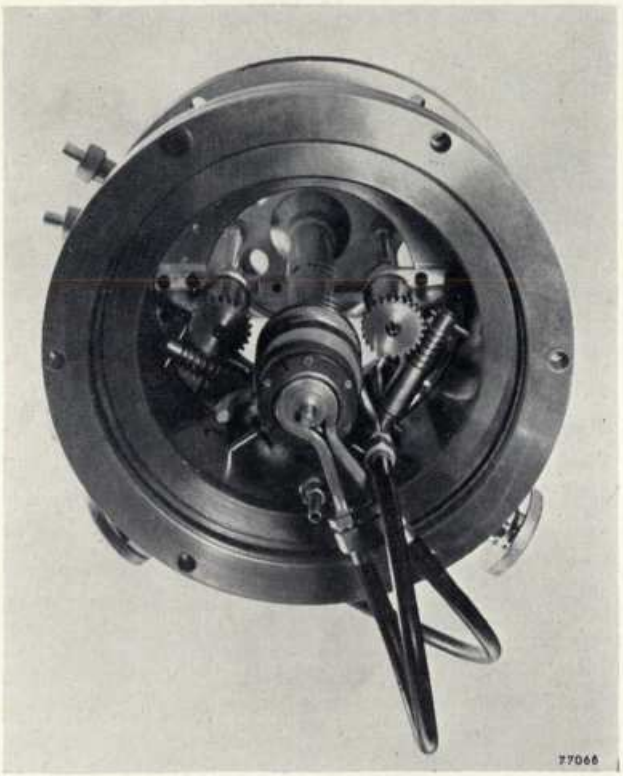


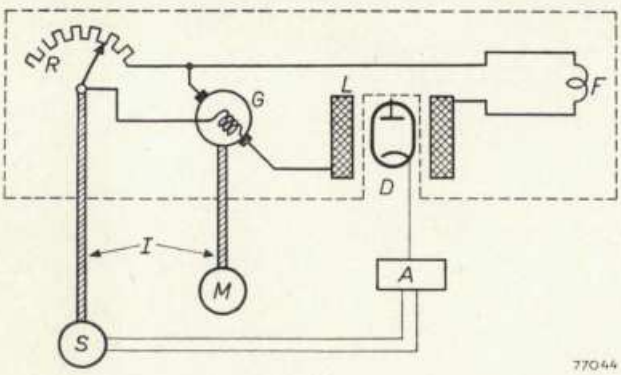
Fig. 12. Electronenkanon. Achter de glasplaat die de kathode draagt en isoleert, ziet men het mechaniek voor de vacuumafsluiter. De glijplaat met gaten ziet men geheel achteraan. De glijbeweging van deze plaat wordt door een tandheugelaandrijving bewerkstelligd en het aandrukken door een schroefbout. Beide bewegingen worden teweeggebracht door assen die vacuumdicht door de mantel van het electronenkanon zijn gevoerd; de draaiknoppen van deze assen zijn onderaan te zien.

Heeft men de glijplaat naar de positie van sluiten verschoven en tegen de anode gedrukt, dan worden de gaten in de anode door ringen van „Neoprene", die in groeven van de glijplaat worden vastgehouden, afgesloten. Het mechanisme voor het verschuiven en aandrukken van de glijplaat is in *fig. 12* te zien.

Heeft men de kathode verwisseld, dan wordt de ruimte van het electronenkanon eerst door een der voorpompen van het vacuumsysteem tot ongeveer 0,04 mm kwik geëvacueerd, waarna men de afsluiter langzaam opent. De drukstijging in de eigenlijke versneller blijft nu zeer gering en de druk keert zeer spoedig weer tot de normale lage waarde terug.

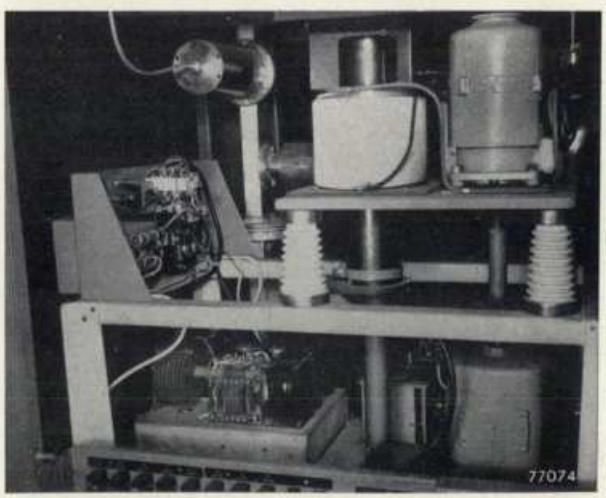
Hierboven werd reeds vermeld dat het wenselijk was de gloeistroom van het electronenkanon te stabiliseren. Aangezien de kathode stootsgewijze op een spanning van 45 kV komt, moest voor deze stabilisatie een speciale apparatuur worden uitgewerkt. Deze is in *fig. 13* weergegeven. De gloeidraad van het kanon wordt gevoed uit een gelijkstroomgenerator, die via een isolerende as door een kleine wisselstroommotor wordt aangedreven. In serie met de gloeidraad staat een cylindrische spoel met een binnendiameter van 20 cm. In de spoel is een „magnetische diode" [12]) geplaatst, die de magnetische inductie „meet" en (door haar anodestroom) aangeeft of deze groter dan wel kleiner is dan aan de nominale waarde van de gloeistroom beantwoordt. Aan de diode is via een balansversterker een servomotor verbonden, die via een tandwieloverbrenging en een isolerende as een variabele weerstand in de veldketen van de gelijkstroomgenerator bijregelt. Op deze wijze kan men de gloeistroom constant houden op zijn nominale waarde. Om ook lagere stroomwaarden te kunnen instellen, is een hulpspoel om de magnetische diode aangebracht. Stuurt men een stroom door deze

[12]) Vgl. H. B. G. Casimir, Een magnetron voor gelijkspanningsversterking, Philips techn. T. **8**, 361-368, 1946.



a

Fig. 13. *a*) Schakeling voor de stabilisatie van de gloeistroom van het electronenkanon. Alleen de onderdelen binnen de gestippelde begrenzing bevinden zich op hoge potentiaal (—45 kV gedurende de aan het kanon toegevoerde spanningsimpuls). *G* gelijkspanningsgenerator aangedreven door motor *M*, *F* gloeidraad van het kanon, *L* veldspoel, *R* instelbare weerstand. *D* magnetische diode die het veld in het middelpunt van de spoel *L* „meet", *A* balansversterker, *S* servomotor, *I* isolerende assen.



b

b) Foto van de stabilisatie-inrichting.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

spoel zodanig dat het veld ter plaatse van de magnetische diode wordt vergroot, dan zal de gloeistroom van het electronenkanon afnemen, aangezien de diode zal trachten de totale inductie op dezelfde waarde te handhaven.

Van dit voedingssysteem bevinden zich alleen de generator, de weerstand in de veldketen en de grote spoel om de magnetische diode op hoogspanning. Een slipkoppeling en eindschakelaars beveiligen de variabele weerstand in de veldketen tegen beschadiging, voor het geval in de gloeistroomketen van het kanon een onderbreking of kortsluiting optreedt.

Dit regelsysteem voldoet in de practijk zeer goed en levert een gloeistroom die binnen $\pm 1\%$ constant blijft.

Een andere, betrekkelijk eenvoudige methode zou zijn geweest, de gloeidraad via een bifilair gewikkelde spoel te voeden. Men kan dan voor de stabilisatie een der gebruikelijke schakelingen toepassen, waarbij alle onderdelen op aardpotentiaal of daaromtrent blijven. De spoel zou echter een grote capaciteit ten opzichte van aarde bezitten. In het speciale geval van de versneller te Harwell wordt gehoopt het electronenkanon in de toekomst door een afzonderlijke modulator van spanningsimpulsen te voorzien, waarbij men zal streven naar een aanzienlijk kortere impulsduur dan de tegenwoordig gebruikte van 2 μsec (zie pag. 183). Om deze hulpmodulator niet al te kostbaar te maken, was het gewenst de capaciteit van het electronenkanon en zijn voedingssysteem ten opzichte van aarde zo klein mogelijk te houden.

De focussering

De defocusserende krachten die op de electronenbundel in de geplooide golfpijp werken, nemen af naarmate de fazesnelheid van de golf de lichtsnelheid nadert. Het axiale magnetische veld dat vereist is voor de focussering, moet derhalve aan het begin van de golfpijp, nabij het electronenkanon, de grootste sterkte bezitten. Volgens de berekening verlopen de voor de 15 MeV-versneller vereiste inductiewaarden van 0,0750 Wb/m² aan het begin tot 0,0125 Wb/m² aan het einde van de versneller.

Het ontwerp van de spoelen voor het opwekken van dit focusserende veld werd gebaseerd op een binnendiameter van de wikkeling van 25 cm en een bekrachtigingsstroom van de orde van 3 A; het aantal windingen per cm (en derhalve de buitendiameter van de wikkeling) moet langs de versneller verlopen. Het systeem is verdeeld in korte stukken spoel van 10 cm lengte, die geschoven zijn op cylindrische dragers van iets minder dan 1 m lang. Dank zij deze onderverdeling blijft de vacuummantel gemakkelijk toegankelijk om aan het einde van iedere meter lengte de nodige koelwateraansluitingen tot stand te brengen. Een stel grote Helmholtz-spoelen overbrugt de tussenruimte die door het middenstuk van de versneller en de diffusiepomp ontstaat (vgl. fig. 8). Om in de buurt van de einden van de versneller het vereiste veld te verkrijgen zonder dat men gedwongen is de focusseerspoelen een stuk buiten deze einden te laten uitsteken (of op deze plaatsen zeer grote spoelen aan te brengen), zijn hier eindplaten van zacht staal aangebracht, die een plaatselijke concentratie van het veld teweeg brengen.

Aangezien in de focusseerspoelen een vermogen van in totaal ongeveer 6 kW wordt gedissipeerd, was waterkoeling noodzakelijk. De koelspiralen zijn aan de cylindrische spoellichamen bevestigd, die mede als bouwelementen voor de in fig. 7 en 8 weergegeven wagentjes dienen. Nabij het begin van de versneller, waar de warmteontwikkeling het grootst is, worden ook de eindvlakken van de spoelen gekoeld. De Helmholtz-spoelen worden op een eindvlak en op het cylindrische buitenoppervlak gekoeld.

Ondanks de waterkoeling stijgt de gemiddelde temperatuur en dus de weerstand van de spoel tijdens het functionneren van de versneller. Deze weerstandsvariaties, gecombineerd met netspanningsschommelingen, zouden gemakkelijk een afwijking van 25% in de waarde van het focusserende veld kunnen veroorzaken. De stroom door de focusseerspoelen moest derhalve worden gestabiliseerd. Daar de ervaring met de vroegere versneller geleerd had dat men door plaatselijke afwijkingen van het focusserende veld ten opzichte van de berekende waarde soms de bundelstroom nog iets kon opvoeren, werd besloten de spoelen te voeden uit onafhankelijk te variëren gestabiliseerde voedingsapparaten. De zes afdelingen van het spoelensysteem werden zo gekozen dat alle voedingsapparaten ongeveer hetzelfde vermogen leveren. Dit betekent natuurlijk dat de afdelingen naar het einde van de versneller toe steeds langer worden; dit is voor het beoogde doel juist gunstig, daar men mag verwachten dat de bundelstroom het gevoeligst zal zijn voor kleine veldsterkteverschillen in dat gebied waar de electronensnelheden nog gering zijn. Naar schatting moesten de veldsterkten binnen $\pm 5\%$ constant worden gehouden. Voor de stabilisatie werd weer een schakeling met magnetische diode toegepast, daar dit een gemakkelijke en economische oplossing was, hoewel in dit geval generlei hoogspanningsproblemen in het geding zijn en met deze schakeling een grotere stabiliteit wordt verkregen dan hier nodig is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het vacuumsysteem

Als de versneller normaal werkt, bereikt men met de diffusiepomp een druk die boven in het middenstuk van de geplooide golfpijp $2 \cdot 10^{-6}$ mm kwik bedraagt. Ten gevolge van de kleine doorsnede der pompgaten in de cellen van de geplooide golfpijp heeft men bij het evacueren hiervan een vrij aanzienlijke pompweerstand. Toch zijn de werkelijke drukken die langs de baan van de electronenstraal optreden waarschijnlijk niet veel groter dan de gemeten waarde, en de versneller werkt behoorlijk zolang men op de genoemde plaats geen grotere druk dan $4 \cdot 10^{-6}$ mm kwik constateert. Voor de nauwe en lange rechthoekige golfpijp is de situatie wat de pompweerstand betreft nog ongunstiger, doch gelukkig worden aan het vacuum in deze golfpijp niet zulke zware eisen gesteld. Het evacueren van de rechthoekige golfpijp zal ten dele via de deurknopkoppelingen en de geplooide golfpijp plaatsvinden. Dit is echter op zichzelf ongewenst, aangezien het leidt tot een verhoging van de druk in de geplooide golfpijp. Daarom zijn in de stukken rechthoekige golfpijp van de vier deurknopkoppelingen spleten aangebracht (bij S in fig. 8). Doordat de lucht

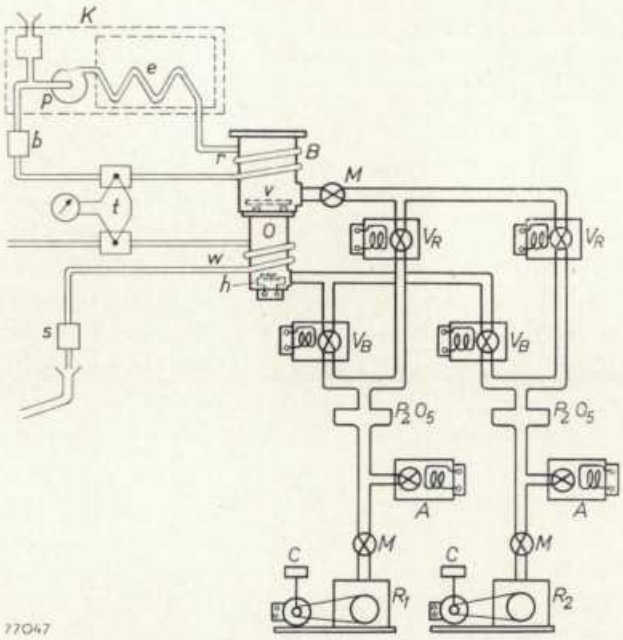


Fig. 14. Overzicht van het pompsysteem. O oliediffusiepomp met verhitter h, koelwaterleiding w en hierin aangebrachte veiligheidsschakelaar s. R_1, R_2 roterende voorpompen, V_B voorvacuumkranen voor de diffusiepomp, V_R kranen voor het evacueren van het vacuumsysteem tot de voorvacuumdruk, A luchtinlaatkranen. Al deze kranen worden magnetisch bediend. M met de hand bediende kranen, C centrifugaalschakelaars, P_2O_5 vochtafscheiders, B dampvanger met hoofdkraan v en koelcircuit r; het water in dit circuit moet minstens 5 °C kouder dan dat in het hoofdkoelcircuit worden gehouden; hiertoe dient het koelaggregaat K met circulatiepomp p, warmtewisselaar e, veiligheidsschakelaar b (die de verhitter van de diffusiepomp uitschakelt als de waterstroom stagneert) en thermokoppelmeetinrichting t voor de contrôle van het temperatuurverschil.

Fig. 15. Bedieningspaneel en enkele onderdelen van het vacuumsysteem. In de vier cylindrische dozen onder het paneel bevinden zich de magnetisch bediende kranen. Een van de roterende voorpompen ziet men in de links daarnaast gelegen ruimte onder de betonnen tafel.

nu ook via deze spleten wordt afgezogen, krijgt men in het gehele systeem van rechthoekige golfpijpen een voldoend lage druk.

Om zoveel mogelijk het neerslaan van pompvloeistof op de watergekoelde wanden van de vacuummantel en de geplooide golfpijp te voorkomen, wordt het cylindrische gedeelte R van het middenstuk nabij de dampvanger van de pomp gekoeld met water dat op zijn minst 5° C kouder is dan het water in het overige koelcircuit. Hiertoe werd, met geringe wijzigingen, een normale melkkoeler gebruikt, die een koelaggregaat, een goed geïsoleerde voorraadtank (180 liter) en een circulatiepomp bevat. Deze koeler werd van een electronische temperatuurregelaar voorzien die de temperatuur van het water dat aan het middenstuk en de dampvanger wordt toegevoerd op 5 °C houdt; deze temperatuur is voor de installatie in Harwell laag genoeg, aangezien hier voor de koeling van de versneller een gesloten koelwatercircuit wordt toegepast waarbij de temperatuur nooit beneden 10 °C komt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De samenstelling van het gehele vacuumsysteem is schematisch in *fig. 14* weergegeven, het regelpaneel en enkele onderdelen zijn in *fig. 15* te zien. Het systeem bevat twee roterende voorpompen, ieder met een capaciteit van 450 l/min. Hoewel één hiervan reeds voldoende is om het vereiste voorvacuum voor de diffusiepomp te leveren, is de tweede pomp toch nuttig voor onderhoudswerkzaamheden en ook om tijd te besparen bij het evacueren van het gehele systeem van atmosferische druk tot de voorvacuumdruk.

De twee pompen kunnen hetzij gezamenlijk voor deze voorevacuatie van de versneller en voor het handhaven van de voorvacuumdruk van de diffusiepompen dienen, of ieder kan voor één van deze functies worden gebruikt. Om het gevaar van vergissingen bij de uitvoering van deze operaties te vermijden, worden geen met de hand bediende vacuumkranen gebruikt doch wordt iedere pomp door een kiesschakelaar in werking gesteld die een tweetal magnetisch bestuurde kranen opent of sluit.

De bij het evacueren optredende drukken worden gemeten met behulp van een Pirani-manometer, een Philips-manometer en een ionisatiemanometer met triode [13]). De schakelingen voor alle manometers zijn in een speciaal vacuummeetwagentje ondergebracht, dat in *fig. 16* is afgebeeld. Dit wagentje is door een lange flexibele kabel met de manometers verbonden, zodat het gemakkelijk kan worden verplaatst voor het opsporen van eventuele lekken.

Fig. 16. Wagentje waarin de afleesinstrumenten en bedieningsorganen voor alle vacuummeters zijn ondergebracht (Pirani-, Philips- en ionisatiemanometer).

[13]) Bij de schakeling van de ionisatiemanometer is op te merken dat hierbij een eenvoudige stabilisator met verzadigde ijzerkern de emissiestroom op een vooraf ingestelde waarde constant houdt, zodat de anodestroom een directe maat voor de druk in het systeem is (Engelse octrooiaanvrage 5377/1952).

Het vacuumsysteem bevat nog een aantal beveiligingsinrichtingen, die hieronder ter sprake zullen komen.

De modulator

De modulator, die de spanningsstoten ter grootte van 40 tot 50 kV en met een duur van 2 μsec aan het magnetron en aan het electronenkanon levert, ziet men in *fig. 17*. *Fig. 18* geeft er het vereenvoudigde schakelschema van.

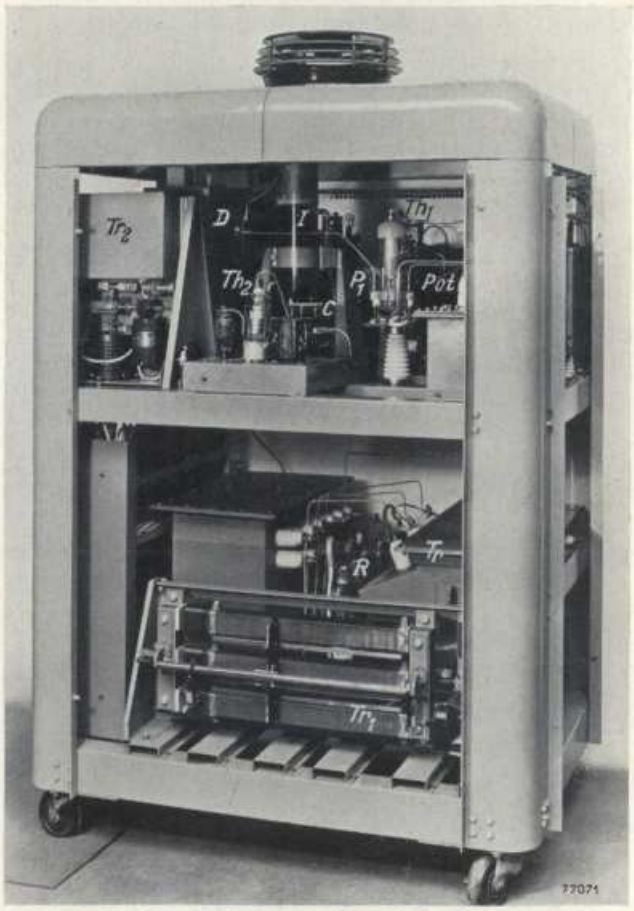


Fig. 17. De grote modulator die de spanningsimpulsen van 40 tot 50 kV en met een tijdsduur van 2 μsec voor het magnetron en voor het electronenkanon levert, met afgenomen zijwanden. De letters zijn dezelfde als in fig. 18.

De uitgangsspanning van de hoofdtransformator *Tr*, die wordt gevoed uit de regeltransformator Tr_1, wordt gelijkgericht, waardoor men een gelijkspanning van 10 à 12 kV verkrijgt. Na afvlakking wordt deze spanning via de zelfinductie *L* en de gasgevulde triode Th_1 toegevoerd aan het impulsvormende netwerk *D* („delay line"). Ten gevolge van de traagheid van de zelfinductie wordt het impulsvormende netwerk tot het dubbele van de toegevoerde gelijkspanning geladen. Hierna wordt het ignitron *I* ontstoken en het impulsvormende netwerk ontlaadt zich door het ignitron en door de primaire wikkeling van de impulstransformator

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

P_1, die de spanning in de verhouding 1 : 5 omhoogtransformeert. De rechthoekige impuls in de secundaire wikkeling van de transformator wordt aan de kathode van het magnetron toegevoerd. Doordat voor het verkrijgen van een maximale energieoverdracht de primaire impedantie van P_1 aangepast is bij die van het impulsvormende netwerk, wordt de spanning gelijkelijk tussen deze twee verdeeld, zodat men een impulsspanning van ongeveer 10 kV op de primaire en van 40 tot 50 kV op de secundaire wikkeling verkrijgt. De impulstransformator is bifilair gewikkeld, zodat de gloeistroomtransformator voor het magnetron zich op aardpotentiaal kan bevinden.

Moest de modulator met een vaste herhalingsfrequentie werken, dan zou de in serie met de spoel L geschakelde triode Th_1 niet nodig zijn, aangezien men de tijdconstante van de spoel zo zou kunnen kiezen dat het impulsvormende netwerk juist op het tijdstip waarop het de eerstvolgende impuls moet afgeven tot de maximale spanning geladen is. In werkelijkheid echter wil men de versneller gebruiken met verschillende herhalingsfrequenties, tussen 100 en 500 impulsen per seconde; de tussenschakeling van de buis, die een ontijdige ontlading van het netwerk voorkomt, is derhalve noodzakelijk. Verder belet men, door aan de roosterketen van Th_1 een geschikte tijdconstante te geven, dat het impulsvormende netwerk al geladen wordt voordat het ignitron volledig ontioniseerd is.

De keuze van een ignitron voor het besturen van de ontladingen is feitelijk niet erg gelukkig, aangezien deze buis van nature onderhevig is aan kleine variaties in de ontsteektijd en aangezien haar ontioniseringstijd betrekkelijk lang is. Toen de modulator werd ontwikkeld, was echter geen waterstofthyratron of soortgelijke buis beschikbaar die een impulsvermogen van 5 MW kon doorlaten. (Thans wordt zulk een waterstofthyratron in de Verenigde Staten gefabriceerd [14].)

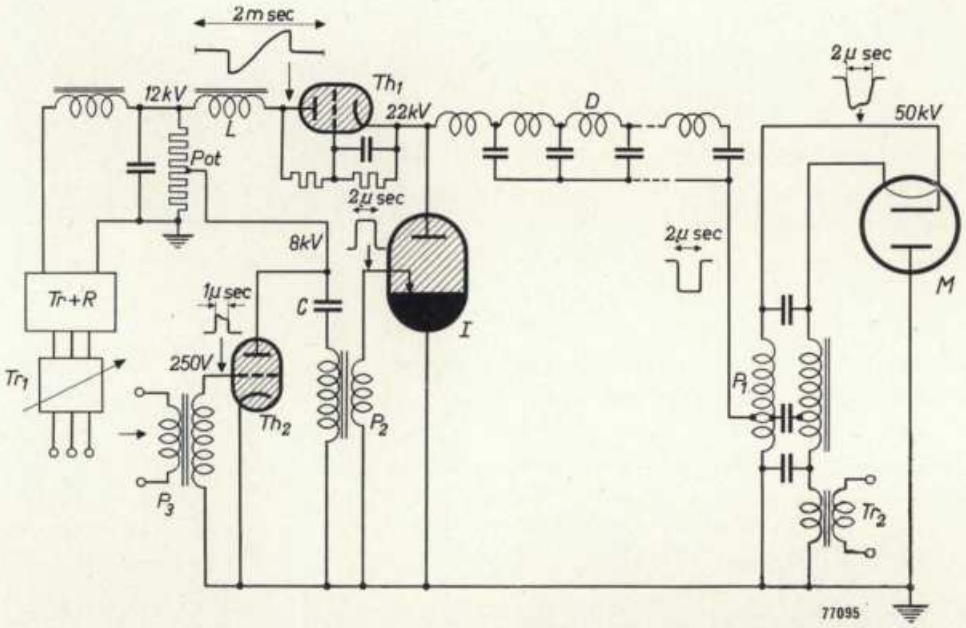


Fig. 18. Vereenvoudigd schakelschema van de modulator. Het impulsvormende netwerk D wordt door een gelijkspanning van 12 kV geladen via de zelfinductie L en de met gas gevulde triode Th_1. Door ontlading van het netwerk D via het ignitron I en de primaire wikkeling van de omhoogtransformerende impulstransformator P_1 wordt een rechthoekige spanningsimpuls op het magnetron M verkregen. De herhalingsfrequentie van de impulsen is maximaal 500 per seconde. Zij wordt geregeld door ontsteekimpulsen die via de impulstransformator P_3 aan het rooster van het waterstofthyratron Th_2 worden toegevoerd; als dit ontsteekt, ontlaadt het via de omlaagtransformerende impulstransformator P_2 de condensator C, waardoor een impuls van zeer groot vermogen (2 kV, 300 A) aan de ontsteekelectrode van het ignitron wordt geleverd. $Tr + R$ is de hoofdtransformator met gelijkrichter, Tr_1 regeltransformator, Tr_2 gloeistroomtransformator voor het magnetron.

Ter beperking van de genoemde variaties in de ontsteektijd (afwijkingen in de opeenvolging der impulsen) zijn twee maatregelen getroffen. De eerste bestaat daarin de ionisatie in het ignitron te bevorderen door het omhulsel hiervan op een zo hoog mogelijke temperatuur te houden — met dien verstande dat de ontionisatietijd hierdoor niet al te lang mag worden. Proeven met een aantal buisexemplaren toonden aan dat een temperatuur van

[14]) Electronics **26**, Febr. 1953, p. 158.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

18 °C een redelijk compromis is. Het water waarmee het ignitron wordt gekoeld, wordt derhalve door een ingedompeld verhittingselement van 500 W verwarmd tot 18 °C. Deze temperatuur wordt door een electronische temperatuurregelaar (Mullard type No. E 7594) constant gehouden.

De tweede maatregel bestaat daarin aan de ontsteekelectrode van het ignitron een zeer groot ontsteeksignaal toe te voeren. Dit signaal is een spanningsstoot van 2 kV, 300 A, die verkregen wordt door de ontlading van een condensator C van 0,01 μF door het waterstofthyratron Th_2 en de (omlaagtransformerende) impulstransformator P_2. De condensator C wordt door een spanningsdeler (*Pot*) die aan de hoogspanning van 12 kV is aangesloten tot 8 kV geladen. Het waterstofthyratron Th_2 ontvangt zijn ontsteekimpulsen van een kanteelspanningsoscillator, die dus de herhalingsfrequentie der impulsen van de modulator regelt. Dank zij het grote topvermogen van 600 kW van de impuls die aan de ontsteekelectrode van het ignitron wordt toegevoerd, zijn de maximale schommelingen in de ontsteektijdstippen tot ongeveer 0,1 μsec beperkt en de gemiddelde waarde der schommelingen is nog aanzienlijk kleiner. Anderzijds is wel gebleken dat de levensduur van het ignitron door deze grote ontsteekimpulsen enigszins nadelig wordt beïnvloed en dat het langzamerhand steeds moeilijker wordt de buis te ontsteken.

Daar het op gang komen van de trilling van het magnetron telkens een tijd van iets meer dan 0,1 μsec vergt en aangezien de effectieve impedantie gedurende deze tijd zeer hoog is (er wordt slechts een zeer geringe stroom geleverd), kan het steile front van de spanning die door de ontlading van het impulsvormende netwerk wordt verkregen, tot gevolg hebben dat er in het eerste gedeelte van de impuls een spanningspiek op het magnetron ontstaat. De hierdoor veroorzaakte stroompiek zou het ontstaan van ongewenste trillingswijzen kunnen bevorderen, die veelal overslagen in het magnetron doen optreden. Het verschijnsel werd onderdrukt door in serie met het magnetron een zelfinductiespoel te schakelen en parallel eraan een in serie geschakelde weerstand en condensator.

Het rechthoekige-golfpijpsysteem

In fig. 6 werd het gehele golfpijpsysteem afgebeeld, van het T-stuk af waar de aankomende golf in tweeën wordt verdeeld. Daar het gehele systeem (tot aan het magnetron toe) wordt geevacueerd, zijn alle golfpijpstukken, bochten en verdere onderdelen (terugkoppelvorken, fazedraaiers enz.) aan elkaar verbonden met normale vacuumdichte verbindingsmoffen. De terugkoppelvorken, fazedraaiers en de voor de instelling dienende thermokoppels zullen hieronder nader worden beschreven. Ieder gedeelte van de golfpijp waarin een discontinuïteit voorkomt, is afzonderlijk door middel van diafragma's aangepast, ten einde reflecties van golven zoveel mogelijk te vermijden: behalve de fazedraaiers heeft geen enkel onderdeel een staandegolfverhouding (zie [6]) kleiner dan 0,98. De fazedraaiers kan men niet zodanig aanpassen dat zij deze staandegolfverhouding in hun gehele fazegebied bezitten. De totale staandegolfverhouding van het systeem (gemeten boven het verdelende T-stuk, bij klein vermogen en met het systeem op atmosferische druk) varieert tussen 0,8 en 0,97, naar gelang van de instelling der fazedraaiers.

Terugkoppelvorken

Als terugkoppelvork is de in *fig. 19a* weergegeven zg. ronde-golfpijpbalans [15]) gebruikt (zie ook fig. 1, 5 en 6). Deze balans bestaat uit twee golfpijpen met cirkelvormige doorsnede, die coaxiaal tegen elkaar aan gezet zijn, terwijl de vacuumverbinding

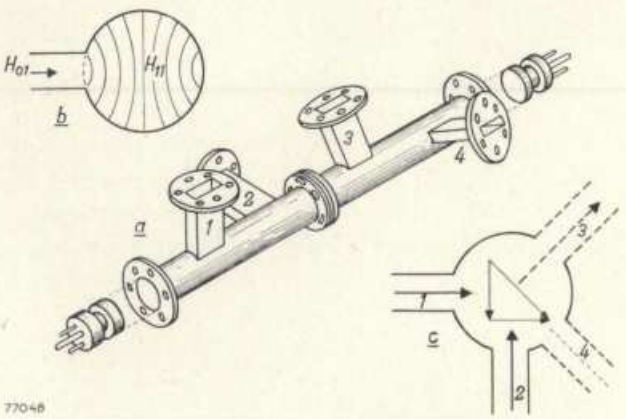


Fig 19. *a*) Ronde-golfpijpbalans. Deze bestaat uit twee stukken ronde golfpijp, ieder met als zijarmen twee rechthoekige golfpijpen die onderling loodrecht en op een axiale afstand van een golflengte staan. De verbindingsmof voor de vacuumdichte verbinding van de beide, coaxiale, ronde golfpijpstukken geeft de mogelijkheid deze iets ten opzichte van elkaar te draaien. De impedanties der beide stukken worden door instelbare zuigers bij elkaar aangepast.

b) Electrische krachtlijnen van een H_{11}-golf in de ronde golfpijp die door een H_{01}-golf in een rechthoekige zijarm wordt opgewekt.

c) De beide H_{11}-golven die in de ronde golfpijp worden opgewekt door de beide zijarmen *1* en *2*, leveren een resulterende golf met een trillingsrichting onder 45° (indien de fazen geschikt geregeld zijn). Van de zijarm *3* kan de som van de beide aankomende vermogens worden afgenomen en in de stationnaire toestand treedt geen vermogen de arm *4* binnen.

[15]) Het gebruik van een ronde-golfpijpbalans voor het terugkoppelsysteem van een versneller is voorgesteld door Mullett; zie: L. B. Mullett en B. G. Loach, A.E.R.E. Report EL-R 93. Verder: B. E. Kingdon (A.E.R.E.), A circular wave-guide magic-Tee and its application to high-power micro-wave transmission, J. Brit. Inst. Rad. Eng. **13**, 275-287, 1953 (No. 5).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

der beide golfpijpstukken een onderlinge draaiing toelaat. Aan het andere eind zijn beide golfpijpen door een instelbare geïsoleerde zuiger en door een vacuumdicht deksel afgesloten. Op ieder van deze beide ronde golfpijpen zijn twee rechthoekige golfpijparmen aangesloten, die onderling onder rechte hoeken staan en op een onderlinge axiale afstand ter lengte van een golf in de cirkelvormige golfpijp. De werking van dit systeem is als volgt. Stel eerst dat aan de twee zijarmen van de ene pijp een zelfde vermogen wordt toegevoerd. Elk van de beide H_{01}-golven zal in de ronde golfpijp een H_{11}-golf opwekken, zoals in fig. 19*b* is getekend. (De straal van de ronde golfpijp is zo gekozen dat gezien vanuit de rechthoekige golfpijp een behoorlijke aanpassing wordt verkregen.) De electrische velden van de beide H_{11}-golven zullen loodrecht op elkaar staan en even sterk zijn. Bij geschikte keuze van de faze der aankomende golven zal de resulterende golf lineair gepolariseerd zijn en haar trillingsrichting zal een hoek van 45° insluiten met de oorspronkelijke trillingsrichtingen. Draait men nu de andere ronde golfpijp zodanig dat een van haar zijarmen loodrecht staat op de resulterende trillingsrichting (dus een hoek van 45° maakt met de zijarmen van de eerste ronde golfpijp), dan zal de som van de beide aankomende vermogens van deze zijarm kunnen worden afgenomen; zie fig. 19*c*.

Is de verhouding van de twee aankomende vermogens $n \neq 1$, dan geldt een soortgelijke beschouwing, maar de hoek tussen de resulterende trillingsrichting en een ingangsarm zal nu $\varphi \neq 45°$ zijn. Deze hoek wordt gegeven door $\mathrm{tg}^2\,\varphi = n$. Dank zij de draaibare vacuumverbinding kan de uitgangsarm waarvan men het vermogen wil afnemen wederom met zijn as loodrecht op de resulterende trillingsrichting worden geplaatst. Bij de 15 MeV-versneller kan het quotient n — dat is hier de verhouding tussen de vermogens die uit de golfpijp aan de vork terug resp. door het magnetron aan de vork worden geleverd — bijv. de waarde $n = 1{,}28$ hebben. De hoek φ is in dat geval ongeveer 46,5° (de ingestelde waarde van n zal natuurlijk slechts voor één waarde van de bundelbelasting juist zijn; vgl. noot [5]).

Men zou kunnen menen dat onder deze omstandigheden de vierde zijarm (de niet als uitgang gebruikte zijarm van de tweede ronde golfpijp) feitelijk overbodig is. Gedurende de „stationnaire" toestand in elke impuls, dus als het vermogen dat door de golfpijp stroomt de eindwaarde heeft bereikt, zal inderdaad geen vermogen in deze arm komen. Aan het begin van elke impuls zal echter gedurende enkele tienden μsec het teruggevoerde vermogen geringer zijn dan in de „stationnaire" toestand. Een zeker vermogen zal dus de vierde arm binnentreden. Dit wordt in een reflectievrije belasting gedissipeerd. (Iets dergelijks geldt ook voor de stationnaire toestand indien de bundelstroomsterkte van de versneller van de nominale waarde afwijkt; het hierbij optredende verlies aan vermogen is echter gering.)

Als reflectievrije belasting in de vierde zijarm is een waterweerstand bijzonder geschikt [16]), aangezien dan bij het afregelen van de versneller het vermogen dat in deze arm wordt gedissipeerd gemakkelijk kan worden gemeten. Deze waterweerstand is in *fig. 20* weergegeven en enkele bijzonderheden zijn in het onderschrift toegelicht.

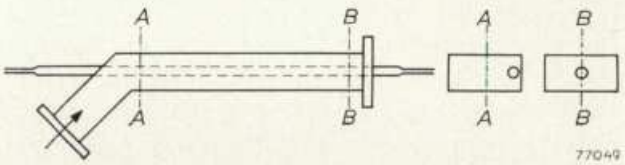


Fig. 20. Reflectievrije belasting met waterweerstand, die op de vierde arm van elk der beide ronde-golfpijpbalansen wordt aangesloten. De weerstand is ondergebracht in een stuk rechthoekige golfpijp, die met een knik van 45° aan de arm is verbonden en die aan het andere einde is gesloten. Een glazen buis, waardoor water stroomt, treedt door een vacuumdichte doorvoering de golfpijp nabij een der wanden binnen (zie doorsnede *AA*), loopt dan schuin door de golfpijp en treedt aan het gesloten einde centraal door een tweede vacuumdichte doorvoering weer uit (doorsnede *BB*). Aangezien de electrische veldsterkte bij *AA* klein is, heeft de discontinuïteit die door de glaswand wordt veroorzaakt, weinig invloed en er zal weinig reflectie optreden.

Ten opzichte van een ander soort terugkoppelvork, de „rat race", is het een belangrijk voordeel van de ronde-golfpijpbalans dat men met deze op eenvoudige wijze en zonder de impedantie-aanpassing aan de rechthoekige golfpijpen te verstoren ook ongelijke vermogens kan sommeren, door de hoek tussen de beide paren zijarmen een geschikte waarde te geven. Aan de andere kant is de „rat race" kleiner en alle armen liggen hierbij in een zelfde vlak, waardoor de verspringende golfpijpgedeelten, die bij de ronde-golfpijpbalans nodig zijn, worden vermeden. Terloops zij hier vermeld dat theoretisch de beide zijarmen van elke ronde golfpijp in één vlak zouden kunnen liggen, maar proefondervindelijk is gebleken dat dan een merkbaar gedeelte van het vermogen van een arm de andere arm binnenkomt.

De fazedraaiers

De hier toegepaste fazedraaiers bestaan in hoofdzaak uit een wig van keramisch materiaal die in de rechthoekige golfpijp evenwijdig aan de smalle wanden wordt geplaatst. De wig wordt door twee stangen gedragen en kan in de richting loodrecht op de smalle wanden worden verplaatst. De wig veroorzaakt een vertraging bij de voortplanting van de golf, hetgeen neerkomt op een fazeverandering,

[16]) Engelse octrooi-aanvrage 24823/1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

die van de plaats van de wig afhangt en die haar grootste waarde bereikt als de wig halverwege de brede wanden van de golfpijp staat.

Het verplaatsen van de keramische wig houdt in, dat een onderdeel binnen de geëvacueerde rechthoekige golfpijp moet worden bewogen. Bovendien moet het mechaniek voor deze beweging op afstand worden bediend, aangezien de fazedraaiers in de terugkoppellussen eventueel moeten worden bijgeregeld terwijl de versneller op volle kracht werkt.

Voor de beweging van de fazedraaiers hebben wij een magnetische koppeling ontwikkeld. Zodoende zijn geen vacuumdichte doorvoeringen van bewegende delen nodig en komt men met een zeer gering vermogen voor de aandrijving uit, terwijl ook het onderhoud tot een minimum beperkt is. De constructie bevat een hoefijzermagneet, die buiten het vacuumsysteem gelegerd is en die door een motortje om zijn symmetrieas kan worden gedraaid. Binnen het vacuum van een cylindrisch vat, dat op de golfpijp is aangesloten, is op een van schroefdraad voorziene as een week ijzeren poolstuk gemonteerd, dat met de hoefijzermagneet magnetisch is gekoppeld. De genoemde as bewerkstelligt via een moer de translatiebeweging van de keramische wig. De twee stangen die de keramische wig dragen, zijn van zilverstaal vervaardigd en hun onderlinge afstand is gelijk gemaakt aan een oneven veelvoud van een kwart golflengte in de golfpijp, ten einde reflecties zoveel mogelijk te vermijden.

De bewegende gedeelten in het vacuum worden bij gelegenheid eens gesmeerd met „Apiëzon" pompvloeistof. Een fazedraaier volgens deze constructie is bij de 3,5 MeV-versneller gedurende drie jaar in gebruik geweest. Na 18 maanden moest hij voor het eerst nagekeken worden.

Met de aandrijfas buiten het vacuum is via een tandwieloverbrenging een potentiometer gekoppeld. Deze maakt het mogelijk de positie van de wig in de golfpijp op afstand op een voltmeter af te lezen. In het aandrijfmechanisme buiten de golfpijp zijn eindschakelaars aangebracht, ten einde te voorkomen dat de wig tegen de wanden van de golfpijp aanloopt.

De golfpijpthermokoppels

De thermokoppels waarmee het vermogen op verschillende punten in de golfpijpen wordt gemeten, zijn van het voor dit doel gebruikelijke type: de twee draden van een koppel zijn in de vorm van een kleine opvanglus, met de lasplaats in het midden, gemonteerd in een geëvacueerd buisje. De golf in de golfpijp induceert in de lus een hoogfrequente stroom, die de lasplaats van het thermokoppel verhit. Een draad van het thermokoppel is verbonden aan een dunne koperen flens van het buisje en de andere is aangesloten aan een geïsoleerde doorvoer in de top. Voor ieder meetpunt worden twee thermokoppels gebruikt, die op een afstand van $^3/_4$ golflengte in de golfpijp worden geplaatst, ten einde fouten ten gevolge van staande golven te beperken. De twee thermokoppels worden in serie geschakeld, met zodanige polariteit dat de uitgangsspanning kan worden afgenomen van de twee topaansluitingen.

De bevestiging van de thermokoppels is zo geconstrueerd dat een goede vacuumafsluiting van de rechthoekige golfpijp wordt verkregen, terwijl anderzijds doorgebrande thermokoppels kunnen worden vervangen zonder dat een nieuwe ijking

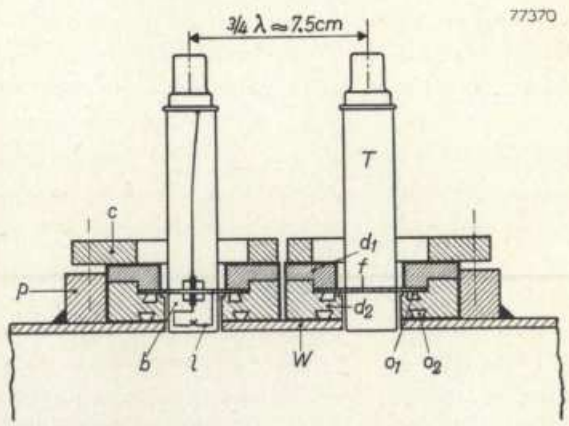


Fig. 21. Wijze van monteren van de golfpijpthermokoppels. Op elke meetplaats worden twee thermokoppels T gebruikt, die ieder zijn gemonteerd in een draaibare schijf, waardoor de gevoeligheid gemakkelijk kan worden ingesteld. l opvanglus, b ballon, f koperflens, d_1 en d_2 schijven, o_1 en o_2 vacuumdichtringen, p plaat die aan de wand w van de golfpijp is gesoldeerd, c kraag voor het vastklemmen van elk thermokoppel in de gekozen positie.

nodig is. De wijze van bevestiging is in *fig. 21* weergegeven. Men ziet dat het buisje van ieder thermokoppel met zijn koperen flens tussen twee ringvormige schijven is geklemd. De beide aldus gemonteerde buisjes worden ieder in een cirkelvormig gat in een op de golfpijp gesoldeerde plaat gezet en door een op de plaat geschroefde kraag vastgehouden. Voor de ijking wordt een dergelijk thermokoppelpaar op een afzonderlijk stuk golfpijp aangebracht, waarin het doorstromend vermogen rechtstreeks door dissipatie in een waterweerstand kan worden gemeten. Door de buisjes met hun schijven te draaien, kan men de gevoeligheid van ieder thermokoppel zo regelen dat de juiste waarde van het vermogen op het aanwijsinstrument wordt afgelezen. De richting van de as van de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

golfpijp wordt op het bovenste schijfje van ieder thermokoppel aangegeven en de thermokoppels worden dan met behoud van deze richting naar hun plaats in het rechthoekige-golfpijpsysteem overgebracht. De ijking is bij toepassing van deze methode tot op 5% nauwkeurig, hetgeen voor ons doel voldoende is.

Beveiligingen

Ter vermijding van beschadiging of tijdverlies in geval van bezwijken van een onderdeel of uitvallen van een voeding zijn een aantal beveiligingsschakelingen aangebracht. Bij de beschrijving van deze beveiligingen zullen wij ons ertoe beperken, aan te geven welke onderdelen tegen een eventuele storing moeten worden beveiligd en welke hulpmiddelen en schakelingen hiertoe worden gebruikt.

Een aantal maatregelen zijn getroffen ter beveiliging van het vacuumsysteem. Als de netvoeding voor de diffusiepomp uitvalt, worden de twee magnetisch bediende voorvacuumkranen gesloten, zodat het vacuum in de vacuummantel blijft gehandhaafd. Men vermijdt aldus tijdverlies en een nadelige beïnvloeding van de hete pompvloeistof van de diffusiepomp. Komt de roterende voorpomp die in functie is tot staan, hetzij door onderbreking van de netvoeding, hetzij door breuk van de drijfriem of storing van de motor, dan schakelt een op de pompas gemonteerde centrifugaalschakelaar de diffusiepomp af en sluit de voorvacuumkraan; bovendien opent deze schakelaar een magnetisch bediende luchtinlaatkraan, die in de leiding naar ieder van de twee voorpompen is aangebracht, om te voorkomen dat olie van deze pompen in de vacuumleidingen wordt binnengezogen. Natuurlijk mag de luchtinlaatkraan niet opengaan voordat de voorvacuumkranen gesloten zijn. Om dit te waarborgen, is parallel aan de magneetwikkeling van de luchtinlaatkraan een grote capaciteit geschakeld, zodat deze een grote tijdconstante krijgt.

Dezelfde gebeurtenissen hebben plaats als het gehele net uitvalt. Verdere automatische handelingen zijn voor dit geval niet nodig, aangezien in de schakelaars contacten zijn toegepast die door de ingeschakelde stroom zelf in de arbeidspositie worden gehouden. Komt de netspanning terug, dan schakelt de voeding zich dus niet weer vanzelf in.

Het zal echter ook kunnen gebeuren dat de druk in het vacuumsysteem ten gevolge van een of ander lek stijgt terwijl de pompen en alle andere onderdelen van de versneller normaal in werking zijn. Door een dergelijke drukstijging zou niet alleen de pompolie worden gekraakt maar er zou ook onherstelbare schade worden toegevoegd aan de gloeidraad van de ionisatiemanometer en van het electronenkanon. Bovendien zou er een overslag in het rechthoekige-golfpijpsysteem of in de geplooide golfpijp kunnen optreden en de hierdoor ontstane zware misaanpassing zou op zijn beurt gevaarlijke doorslagen in het magnetron kunnen veroorzaken. Om deze funeste gevolgen te vermijden, is met de reeds vermelde Philips-manometer een electronisch relaissysteem verbonden, dat in werking treedt zodra de druk in de vacuummantel boven 10^{-3} mm kwik stijgt; dit relaissysteem zorgt ervoor dat alle vacuumkranen gesloten worden en schakelt terzelfder tijd de modulator, de gloeidraad van het electronenkanon, de verhitters van de diffusiepomp en alle vacuummanometers uit.

Een storing van de koelwatertoevoer zou zelfs nog zwaardere schade kunnen toebrengen aan het magnetron, aan de geplooide golfpijp (ten gevolge van de uitzettingsverschillen tussen deze en de vacuummantel), aan het electronenkanon en aan de diffusiepomp. De koelwatercircuits zijn derhalve uitgerust met balansschakelaars, die bij stagnatie van de waterstroom de hele installatie van het net afschakelen.

Ten slotte zijn er overbelastingsrelais aangebracht in de driefazenvoeding van de modulator, in de trillingsketen, de hoogspanningsketen waaruit het magnetron wordt gevoed en de eenfazevoeding van de focusseerspoelen. In de gelijkspanningsketens worden deze relais bekrachtigd door de spanningsafval over weerstanden en in de wisselspanningsketens door stroomtransformatoren.

Hierboven werd vermeld dat het systeem van

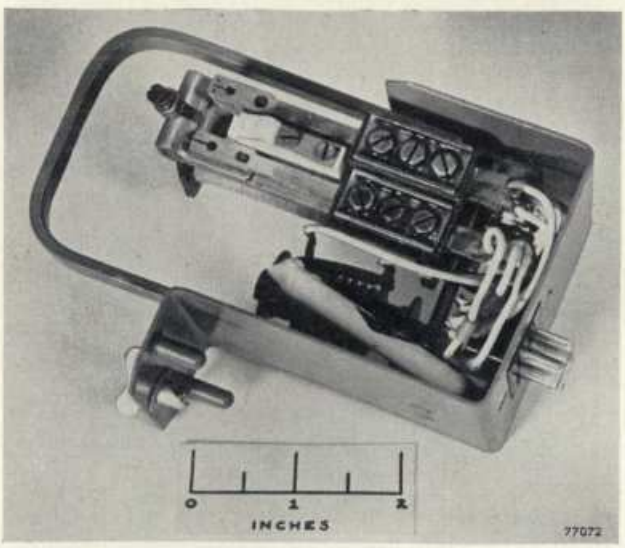


Fig. 22. Relaiseenheid, die in de beveiligingsschakelingen wordt gebruikt. Treedt een storing in de werking van het relais op, dan wordt de gehele eenheid er uitgetrokken en een andere eenheid van hetzelfde type ingezet.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

beveiligingen niet alleen de installatie tegen schade moet behoeden, maar ook het tijdverlies ten gevolge van storingen zoveel mogelijk moet beperken. In een zo omvangrijk en samengesteld systeem van beveiligingen is echter de mogelijkheid van tijdverlies ten gevolge van storing in het beveiligingssysteem zèlf een belangrijke factor! De onderdelen met de meeste kans op storingen zijn de relais, die bij de meeste beveiligingsschakelingen te pas komen. Daarom hebben wij een van stekers voorziene relaiseenheid ontwikkeld (*fig. 22*), die een normaal telefoonrelais bevat en die met zeer geringe wijzigingen in alle genoemde veiligheidsschakelingen wordt gebruikt (*fig. 23*). Treedt er nu tijdens het

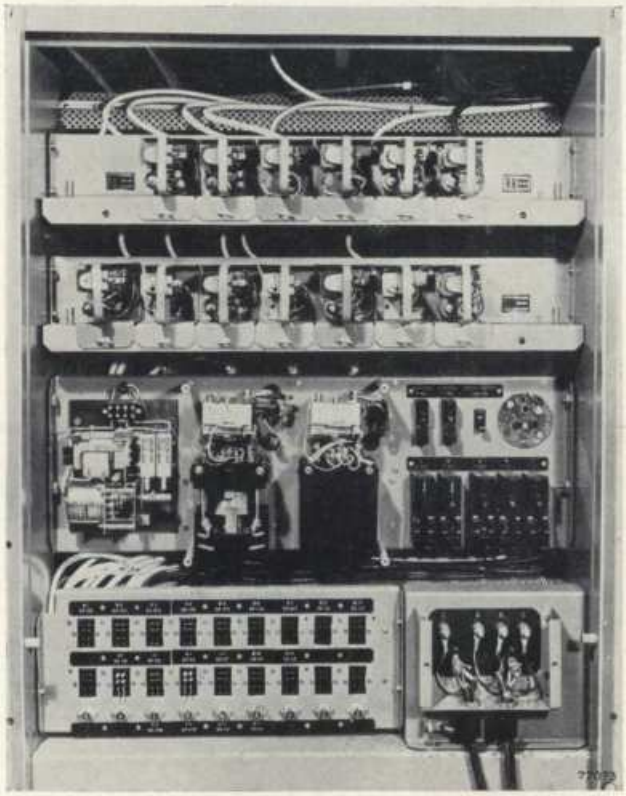


Fig. 23. Beveiligingspaneel van de modulator. Bovenaan ziet men een reeks relaiseenheden.

werken van de versneller een storing aan een relais op, dan behoeft men niet veel tijd te verliezen voor het verwijderen en het weer vervangen van het gestoorde relais, doch men trekt de relaiseenheid waarin de storing opgetreden is eenvoudig er uit en steekt er een andere van hetzelfde type voor in de plaats. Dank zij een codering is het onmogelijk een eenheid van een verkeerd type in te steken.

Bedieningslessenaar

Aangezien de schuilkelder, waarin de versneller staat, tijdens de werking van het apparaat niet toegankelijk is, moeten alle instellingen die tijdens het functionneren nodig zijn door afstandsbediening worden bewerkstelligd. De plaatsing van de modulator maakt het wenselijk ook deze op afstand te kunnen bedienen [17]). De bedieningslessenaar (*fig. 24*) is voor deze dubbele taak ontworpen. Hij bevat zeven gemakkelijk uit te schuiven panelen:

1) Hoofdbedieningspaneel. Hierop bevinden zich drukknoppen voor het inschakelen van gloeispanningen en anodespanningen van buizen en voor het inschakelen en regelen van de hoge uitgangsspanning van de modulator. Verder zijn er meetinstrumenten voor het controleren van spanning en stroom aan de uitgang van de gelijkrichter van de modulator. Op dit paneel is ook de oscillator aangebracht die de spanningsimpulsen voor de besturing van de modulator opwekt. Door middel van een kiezer kunnen herhalingsfrequenties van 100, 200, 350 en 500 impulsen per seconde worden ingesteld. Door dezelfde kiezer kan de modulator ook op een uitwendige bron van ontsteekimpulsen worden aangesloten.

2) Paneel voor het magnetron. Hierop kan de gloeistroom, het magnetische veld, het hoogfrequentievermogen en de frequentie worden gemeten en gevarieerd.

3) Paneel voor de electronenbundel. Dit bevat de voorzieningen voor de regeling van de gloeistroom van het electronenkanon, voor de meting van het vermogen van de electronenbundel en van de röntgenstralenopbrengst, en ten slotte die voor de regeling van de faze en de meting van het hoogfrequentievermogen in ieder van de terugkoppellussen.

4) Oscillograafpaneel. De hier ingebouwde oscillograaf kan werken met een tijdbasis van 12 μsec, 120 μsec of 12 msec. Hij kan worden gebruikt om de vorm van de spannings- en stroomimpulsen in de modulator te controleren, of bijv. de stroomimpuls die wordt opgewekt door de scintillatie van een kristal onder de invloed van de opgewekte röntgenstralen. Dit paneel bevat verder voor de contrôle van de frequentie een impulsversterker met een versterking van 60 dB, die aangesloten is op een golfmeter met trilholte met grote Q; deze methode om de frequentie te meten is nuttig, aangezien hierdoor frequentieveranderingen van het magnetron gedurende de impuls alsmede ongewenste trillingswijzen van het magnetron kunnen worden aangetoond. De laatste ook als zij slechts met zeer geringe intensiteit vertegenwoordigd zijn.

5) Beveiligingspaneel. Dit geeft door een reeks groene lampjes de toestand in de verschillende beveiligingsschakelingen aan. Bij ieder van de vier

[17]) Bij sommige medische installaties zal de modulator direct naast de versneller worden geplaatst; dan is afstandsbediening onvermijdelijk.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

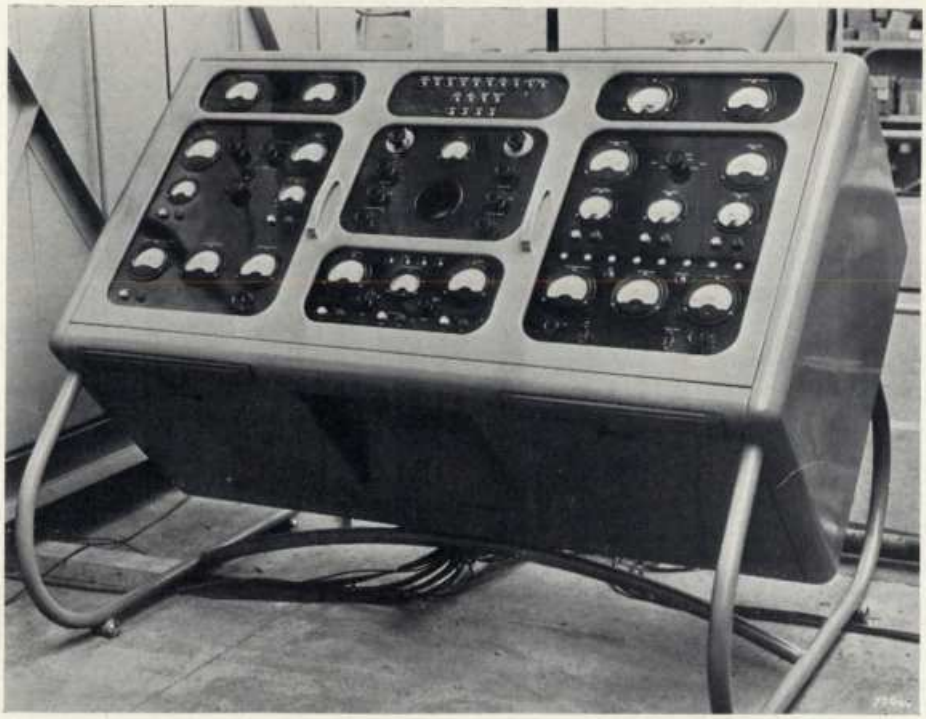


Fig. 24. Bedieningslessenaar van de versneller voor 15 MeV. De lessenaar bevat een hoofdregelpaneel (onderaan in het midden), een paneel voor het magnetron (onderaan links), een voor de electronenbundel (onderaan rechts), een met een oscillograaf (in het midden), een voor indicatie van de beveiligingen (bovenaan in het midden), en nog twee kleine hulppanelen waarop de toestand van het vacuumsysteem kan worden gecontroleerd en diverse eventueel gewenste gegevens kunnen worden afgelezen.

ketens van groot vermogen die, zoals in het voorafgaande hoofdstuk is toegelicht, tegen overbelasting beschermd zijn, behoort een rode signaallamp. Komt een overbelastingsrelais in actie, dan gaat de rode lamp branden. Eerst nadat de fout opgemerkt en opgeheven is, kan de keten opnieuw worden ingeschakeld, door middel van een drukknop op hetzelfde paneel.

6) en 7) Verder zijn er twee kleine panelen, waarop door een instrument aangesloten op de ionisatiemanometer de druk wordt aangegeven, verder het temperatuurverschil tussen het koelwater van het hoofdkoelcircuit en het speciaal gekoelde circuit, en nog eventuele andere gegevens die in een bepaald geval gewenst kunnen zijn. In Harwell werden op een van deze kleine panelen drie tellers gemonteerd (in fig. 24 niet te zien), waarop kan worden afgelezen hoeveel uren de laagspanningsketens, de hoogspanningsketens en de compressor van het koelaggregaat in werking zijn geweest. De beide eerstgenoemde gegevens zijn zeer nuttig om inlichtingen te verzamelen over de te verwachten levensduur der buizen in verschillende ketens.

C. BEPROEVINGSMETHODES EN PRESTATIES

Meetmethodes

Om de werking van de machine als versneller voor deeltjes te toetsen, moeten in de eerste plaats de electronenenergie en het bundelvermogen worden gemeten. Wij hebben geen pogingen gedaan de bundelstroom zelf direct te meten, aangezien dit veel moeilijker is en, tenzij men zeer zorgvuldig geconstrueerde meetinrichtingen gebruikt, hoogstens een ruwe contrôle zal opleveren van de stroomwaarde die men uit de beide andere metingen afleidt.

Er zijn ook metingen gedaan van de verkregen röntgenintensiteit en van de concentratie van de bundel (dwz. de radiale verdeling der electronen in de bundel). De laatste eigenschap zal natuurlijk van bijzonder belang zijn als een dergelijke machine gebruikt wordt voor röntgentherapie.

Het totale bundelvermogen werd gemeten met behulp van een watercalorimeter met constante doorstroming. Deze calorimeter bestaat uit een cylindrisch messingvat, van voldoende lengte om

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

alle electronen te absorberen, dat aan het ene einde is afgesloten door een messingstop en aan het andere einde door een dun koperfoelie. Het vat werd coaxiaal met de versneller opgesteld, met het koperfoelie tegenover de uittree-opening, zodat de electronen hun energie vrijwel geheel aan het water overdragen en slechts voor een gering deel aan de wanden van het vat. De temperatuurverhoging van het water werd continu met een thermokoppel gemeten. Bij deze experimenten verlieten de electronen de geplooide golfpijp door een opening die was afgesloten door een 0,05 mm dik foelie van beryllium-koper. Het energieverlies in dit foelie is zeer klein, maar er ontstaat een aanzienlijke verstrooiing. De calorimeter werd derhalve zo dicht mogelijk bij het foelie geplaatst, om de luchtweg kort te houden en zo weinig mogelijk verstrooide electronen te verliezen.

De doorstroomsnelheid van het water werd zodanig geregeld dat de temperaturen aan de ingang en de uitgang niet meer dan 10 tot 15 °C verschilden; bovendien werd ervoor gezorgd dat de eerste temperatuur beneden en de tweede boven de omgevingstemperatuur lag. Het warmteverlies aan de omgeving was daardoor verwaarloosbaar klein.

De electronenenergie werd volgens de gebruikelijke methode bepaald uit de kromtestraal van de electronenbaan in een magnetisch veld van bekende sterkte dat loodrecht op de bewegingsrichting staat. Een vereenvoudigd beeld van de opstelling geeft *fig. 25*. In twee loodrecht op elkaar

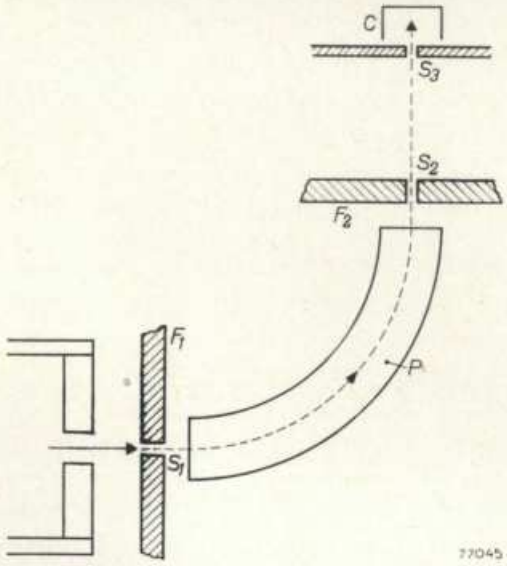


Fig. 25. Opstelling voor het meten van de electronenenergie. De electronen die uit het uittreevenster van de versneller komen, lopen door de spleet S_1 en treden het magnetische veld tussen de poolstukken P van een electromagneet binnen. Het veld wordt zo ingesteld dat de electronen een boog van 90° beschrijven en door de spleet S_2 in de collector C komen. De vorm van de poolstukken is aangepast bij de baan die de electronen moeten volgen.

opgestelde staalplaten F_1 en F_2 zijn spleten aangebracht voor het doorlaten van de electronen. Electronen die uit de versneller komen, passeren de spleet S_1, doorlopen een boog van 90° tussen de poolstukken van een electromagneet (vereiste inductie ongeveer 0,2 Wb/m²) en treden door de spleet S_2 weer uit. Nadat zij een veldvrije ruimte van 30 cm lengte hebben doorlopen, komen zij door een derde spleet S_3 in een collector. De van de collector verkregen stroom is evenredig met het aantal electronen dat de versneller verlaat met een energie die beantwoordt aan de gekozen waarde van het analyserende magnetische veld.

De stroomstoot wordt versterkt door een afgeschermde voorversterker, die vlak bij de collector is opgesteld, en vervolgens door een balansversterker die een zeer grote versterking levert; de vorm van de stroomstoot wordt dan op een oscillograaf met grote schrijfsnelheid zichtbaar gemaakt. Op deze wijze kunnen dus ook de duur van de electronenimpuls en de tijdsverdeling van de electronenenergieën die in de impuls voorkomen, worden gemeten.

Aangezien de electronen tussen het uitgangsvenster van de versneller en de collector een weg van ongeveer 1 meter afleggen, zou een aanzienlijke verstrooiing optreden en aan de collector slechts een uiterst kleine stroomstoot worden verkregen als deze baan zich onder atmosferische druk bevond. Er is daarom gezorgd dat de electronen bij S_1 weer door een foelie van berylliumkoper een buisvormige geëvacueerde ruimte binnentreden, die zich tot aan de collector uitstrekt. De totale verstrooiing in de beide foelies en op de luchtweg van 2,5 cm tussen de foelies doet niet veel kwaad, aangezien de impulsstroom groot is en de absolute waarde van de stroomsterkte ons bij deze metingen niet interesseert.

Natuurlijk hadden wij de verstrooiing geheel kunnen uitschakelen door het buisvormige vacuumsysteem direct op de geplooide golfpijp aan te sluiten, waardoor tevens het afzonderlijke pompstel voor het eerstgenoemde systeem overbodig was geworden. We hebben dit echter niet gedaan, met het oog op de moeilijkheid om de meetinrichting met de zeer zware magneet nauwkeurig met de vacuummantel in één lijn te brengen. Bovendien zou het dan onmogelijk geweest zijn de metingen van de electronenenergie en van het bundelvermogen zeer kort na elkaar uit te voeren (zie hieronder).

Bij de meting van de energie moest nog met een andere foutenbron rekening worden gehouden. De platen F_1 en F_2 van zacht staal zorgen ervoor dat het spreidingsveld van de magneet van de analysator, als deze zich nabij de uitgang van de geplooide golfpijp bevindt, geen invloed heeft op de electronenbundel. Nadat een electron echter de spleet

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

S_1 heeft doorlopen, zal het onvermijdelijk aan het spreidingsveld van de magneet blootgesteld zijn, aangezien de staalplaten enige cm van de einden van de poolstukken verwijderd moeten worden opgesteld ten einde de homogeniteit van het veld in de luchtspleet van de magneet niet te bederven. Om voor de geringe afbuiging der electronen in dit spreidingsveld te corrigeren, werd het magnetische veld langs de weg der electronen tussen S_1 en S_2 gemeten, en de werkelijke baan der electronen die loodrecht op F_1 binnentreden en loodrecht op F_2 weer uittreden, werd door numerieke integratie bepaald. De vereiste correctie kon worden uitgedrukt door een effectieve kromtestraal die iets groter is dan de gemiddelde straal van de poolstukken.

De gemiddelde bundelstroomsterkte werd afgeleid uit de meetresultaten voor de electronenenergie en het totale bundelvermogen. De stroomsterkte in de impuls kon dan uit de gemeten impulsduur worden berekend. Om de juiste stroomwaarde te vinden, moest men ervoor zorgen dat tussen de meting van de energie en het bundelvermogen generlei verandering in de omstandigheden waaronder de versneller werkt, optrad. De meettechniek werd er derhalve op afgestemd deze metingen zo snel mogelijk na elkaar uit te voeren. Aangezien het vrij veel tijd kost de analysator met de zware magneet ten opzichte van het systeem te justeren, werd de energiemeting het eerst uitgevoerd en daarna zo snel mogelijk de vermogensmeting.

De doorsnede van de electronenbundel die uit de versneller treedt, kan men bepalen door een stuk fotografisch papier in de bundel te plaatsen. Het papier wordt door het electronenbombardement zeer snel gezwart en wel in het midden, waar de grootste electronendichtheid optreedt, het meest en met toenemende straal geleidelijk minder. Deze methode is zeer nuttig voor het centreren van de bundel, en men stelt aldus vast dat de electronendichtheid binnen een diameter van 6 tot 8 mm het grootst is. Maar natuurlijk kan men aldus geen quantitatief uitsluitsel over de radiale electronenverdeling verkrijgen. Hiervoor werd een meetinrichting gebruikt die in *fig. 26* is weergegeven. Op de eindplaat van de versneller is een reeks geïsoleerde koperplaten aangesloten, waarin gaten van stapsgewijze afnemende grootte zijn geboord, nl. met diameters van 18, 9, 6 en 3 mm. Deze platen verdelen de electronenbundel in een centrale kern van 3 mm diameter en coaxiale buizen met binnen- en buitendiameters van 3 en 6 mm, 6 en 9 mm, enz. Op iedere schijf is een koelspiraal van een enkele winding gesoldeerd, waardoor het relatieve vermogen in de verschillende delen van de doorsnede van de bundel kan worden gemeten. De aldus gevonden radiale verdeling van het vermogen is tevens de radiale stroomverdeling, aangezien de electronenenergie in radiale richting niet verandert.

Ten slotte werden metingen verricht van de röntgenintensiteit die van een 4 mm dikke trefplaat

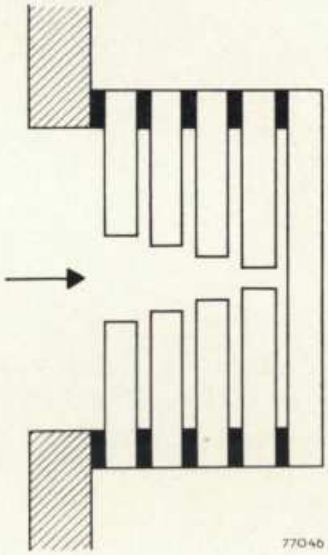


Fig. 26. Opstelling voor het meten van het radiale verloop van de dichtheid van de electronenstroom in de bundel. De bundel valt op een reeks koperschijven die op de eindplaat van de versneller zijn bevestigd. De schijven zijn thermisch van elkaar geïsoleerd en tussen naburige schijven zijn rubberringen voor de vacuumdichting aangebracht. In de schijven zijn gaten met telkens kleinere diameter geboord, waardoor de bundel in een aantal coaxiale buizen wordt gesplitst. Het relatieve vermogen van iedere buis wordt met behulp van een koelspiraal met een enkele winding gemeten.

van platina werd verkregen [18]); hiertoe werd een coaxiaal opgesteld cylindrisch ionisatievat gebruikt met een spanning van 200 V over een spleet van 1 mm.

Prestaties van de versneller

De maximale energie die bij kleine bundelstroomsterkten in de versneller werd gemeten, lag altijd tussen 14 en 15 MeV, meestal dichter bij de laagste waarde. Het werkelijke resultaat in een bepaald geval hangt natuurlijk zeer sterk af van de frequentie, het vermogen van het magnetron en de zorg waarmee men de fazedraaiers in de terugkoppellussen en de fazedraaier tussen de twee lussen heeft ingesteld.

In de grafiek *fig. 27* zijn een reeks representatieve uitkomsten uitgezet, die werden verkregen bij een

[18]) Deze metingen werden uitgevoerd door G. S. Innes van het St. Bartholomews Hospital, Londen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

redelijk zorgvuldige instelling: het magnetron leverde hierbij iets meer dan 1,8 MW in de impuls. Men ziet dat bij toenemende gloeistroom van het electronenkanon het bundelvermogen tot een maximum toeneemt en dan steil afvalt. Dit komt door de bundelbelasting en de hierdoor veroorzaakte afneming van de topwaarde van het versnellende veld, waardoor waarschijnlijk sommige electronen zo sterk vertraagd worden dat zij tot achter de golftop (het gebied van het maximale versnellende veld) terugvallen en verloren gaan.

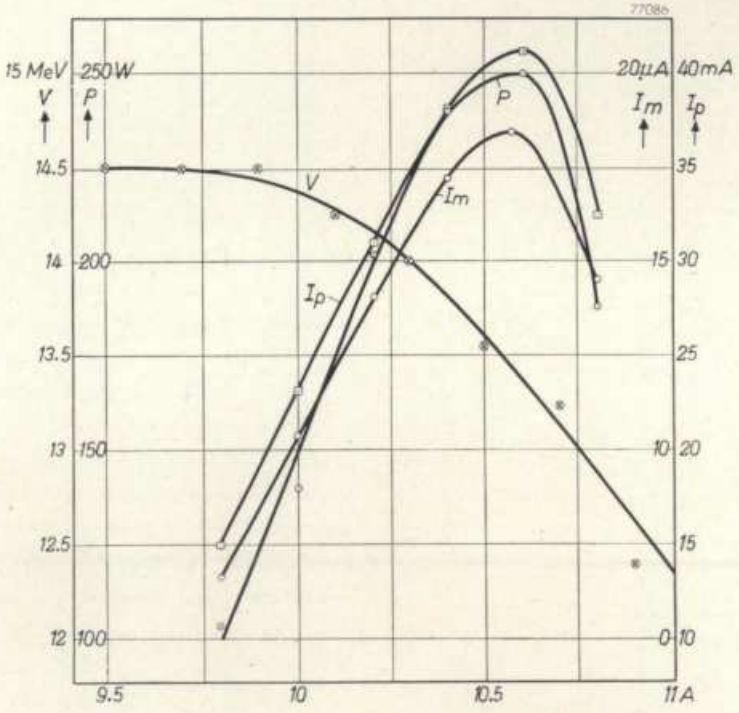


Fig. 27. Verloop met de bundelbelasting (gloeistroom van het electronenkanon) van de electronenenergie V, het bundelvermogen P en de bundelstroomsterkte (gemiddelde waarde I_m, impulsstroom I_p), volgens metingen aan de lineaire versneller voor 15 MeV. Het impulsvermogen van het magnetron was iets meer dan 1,8 MW, de frequentie 2999 MHz, de tijdsduur van de electronenimpuls 1,3 μsec, de herhalingsfrequentie 350 impulsen per seconde. Voor deze metingen was een redelijke zorg besteed aan het nauwkeurig instellen van de fazedraaiers. Zoals men ziet, blijven de werkelijke prestaties iets beneden de verwachte (15 MeV bij 25 mA) [19]).

Voor de tijdsduur van de electronenimpuls werd op de oscillograaf een waarde van 1,5 μsec aan de voet en 1,1 μsec aan de top gemeten, dus een gemiddelde waarde van 1,3 μsec. De gemeten tijdsduur van de stroomstoot door het magnetron was 1,85 μsec, en de impulsduur van het hoogfrequente vermogen zal niet veel kleiner zijn. De tijd nodig voor het opbouwen van het vermogen in de geplooide golfpijp is dus blijkbaar van de orde van 0,5 μsec.

De electronen die uit de versneller treden, zijn niet streng mono-energetisch, maar de spreiding van de energie is tamelijk gering. De spreiding varieert gedurende de impuls; als de stroom zijn halve topwaarde heeft bereikt, bedraagt zij ongeveer 7% (totale breedte van het energiespectrum). In hoofdzaak is de spreiding te wijten aan het optreden van twee duidelijk gescheiden energieniveaus, die ongeveer 0,25 MeV in energie verschillen. Electronen met de laagste energie komen voornamelijk in het eerste gedeelte van de impuls aan, terwijl electronen met de hoogste energie in het laatste gedeelte van de impuls geconcentreerd zijn. Dit wordt aangetoond door *fig. 28*, waarin de vorm van de stroomimpuls, opgenomen bij verschillende waarden van het magneetveld van de analysator, is weergegeven. Hoe diep de inzinking in de stroomimpuls van het middelste beeld is, kan wegens het beperkte scheidende vermogen van de analysator niet nauwkeurig worden gezegd. Het verschijnsel is ook door andere onderzoekers die met versnellers van het lopendegolftype werken, opgemerkt. Een bevredigende verklaring is ons niet bekend.

Het met de reeks koperschijven gemeten radiale verloop van de stroom en het hieruit berekende

[19]) Vgl. ook: C. W. Miller, Nature **171**, 297-298, 1953 (14 Febr.).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

radiale verloop van de stroomdichtheid zijn in *fig. 29* uitgezet. Men ziet dat nagenoeg 60% van de stroom geconcentreerd is binnen een straal van 5 mm, en 50% binnen een straal van 4 mm.

Het verloop van de röntgenintensiteit met de gloeistroom van het electronenkanon is in *fig. 30* weergegeven. Uit de warmteontwikkeling in de trefplaat waarop de röntgenstralen worden opgewekt, kan men weer de bundelstroom bepalen. Deze is eveneens in de genoemde figuur uitgezet, om het nauwe verband tussen de stroom en de röntgenintensiteit te laten zien. De stroomwaarden zijn niet als absolute waarden te beschouwen, aan-

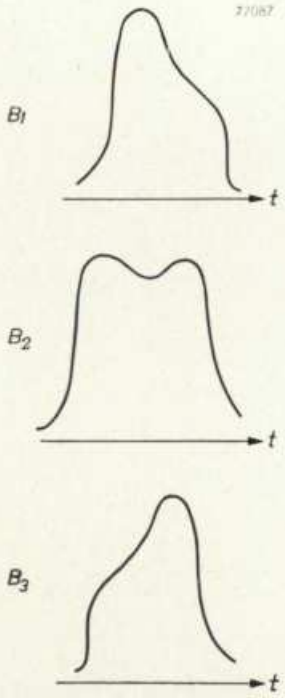


Fig. 28. Vorm van de stroomimpuls die wordt verkregen aan de collector van de meetapparatuur voor de electronenenergie (fig. 25), bij verschillende waarden van het analyserende magnetische veld ($B_3 > B_2 > B_1$). De oscillogrammen tonen aan dat twee energieniveaus optreden, die ongeveer 0,25 MeV verschillen (dit volgt uit het verschil van de waarden B_3 en B_1).

gezien bij deze metingen een veel groter warmteverlies optreedt dan bij die met de watercalorimeter. Ook is het rendement van de röntgenstralenopwekking in de trefplaat van zwaar metaal veel hoger dan in het water, dwz. van het vermogen van de electronenbundel is een groter gedeelte in de geëmitteerde röntgenstraling terug te vinden. Door een en ander zijn de gemeten stroomwaarden ongeveer 20% te klein.

Uit de grafiek ziet men dat de top in de stralingsintensiteit iets eerder optreedt dan de top in de stroom. Dit was ook te verwachten, want de stralingsintensiteit is weliswaar evenredig met de stroom maar tevens evenredig met ongeveer de

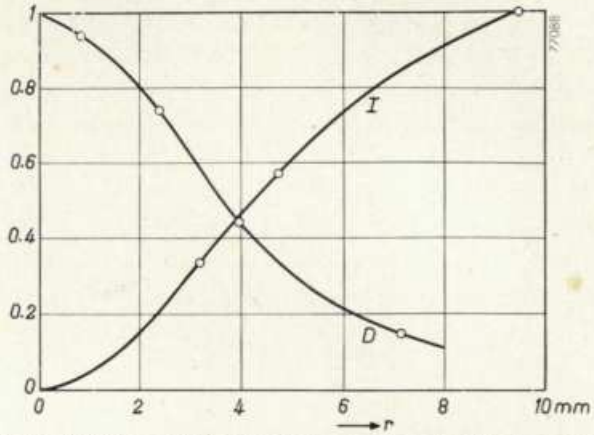


Fig. 29. Radiale verdeling der electronen in de bundel. Kromme *I* relatieve waarde van de stroom binnen een straal *r*. Kromme *D* relatieve stroomdichtheid bij een straal *r*.

2,7de macht van de electronenenergie. In de buurt waar de bundelstroom zijn topwaarde bereikt, is de energie reeds snel dalende.

Alle hier beschreven metingen werden met een herhalingsfrequentie van 350 impulsen per seconde uitgevoerd. In Harwell wordt normaal met een frequentie van 400 impulsen per seconde gewerkt. Wegens de kans op beschadiging van het glazen uittreevenster van het magnetron moet deze herhalingsfrequentie bij werkperiodes langer dan bijv. 30 minuten als een maximum worden beschouwd. Gedurende korte tijd mag in deze versneller het magnetron met een herhalingsfrequentie van 500 impulsen per seconde werken. De maximale röntgenintensiteit is dan van de orde van 2250 röntgen per minuut op een meter afstand van de trefplaat.

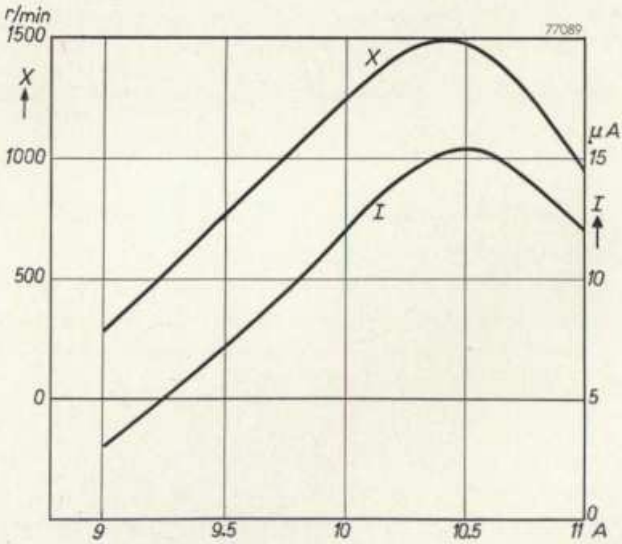


Fig. 30. De opbrengst aan röntgenstralen (in röntgen per minuut) op 1 meter afstand van een trefplaat van 4 mm platina varieert met de gloeistroom van het electronenkanon volgens kromme *X*. De kromme *I* geeft het verloop van de bundelstroom aan, dat globaal werd bepaald uit het vermogen dat in het koelwater van de trefplaat wordt gedissipeerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De Directeur van het Atomic Energy Research Establishment en de Directeuren van de Mullard Radio Valve Company zijn wij dank verschuldigd voor hun toestemming tot het publiceren van dit artikel.

Wij willen ook gaarne dank betuigen aan onze vrienden van het A.E.R.E. voor hun medewerking, in het bijzonder aan E. R. Wiblin en B. L. Tozer, die bij de constructie en de installatie van de versneller belangrijke hulp hebben geboden. Ten slotte vermelden wij met erkentelijkheid de onvermoeide inspanning van onze collega's van de Mullard Research Laboratories, zonder welke het niet mogelijk geweest zou zijn dit werk in twee jaar tijds tot een goed einde te brengen.

Samenvatting van A, B, C. De in dit artikel beschreven lineaire electronenversneller is gebouwd voor kernphysisch onderzoek aan het Atomic Energy Research Establishment te Harwell (Engeland). Aan het ontwerp werd een gewenste electronenenergie van 15 millioen electronvolt en een bundelstroomsterkte van 25 mA ten grondslag gelegd; de geplooide golfpijp mocht 6 meter lang zijn en er moest een magnetron worden gebruikt dat op een frequentie van 3000 MHz een impulsvermogen van 1,8 MW levert. De electronenenergie die in een systeem met terugkoppeling is te verwachten, werd voor verschillende waarden van de golfpijpparameter a/λ berekend. Hiertoe werd een formule gebruikt die de bundelbelasting in rekening brengt. Op grond van de berekeningen werd besloten de golfpijp te verdelen in twee stukken van ieder 3 meter lengte en ieder met een eigen terugkoppellus; voor a/λ werd de waarde 0,168 gekozen en de stabiele positie van de lopende electronen werd op 35° vóór de golftop vastgesteld. Dank zij de mogelijkheid de faze tussen de golf en het electron na het eerste stuk van de golfpijp te corrigeren, is de frequentiegevoeligheid van deze versneller zo klein dat men met de gegeven frequentiestabiliteit van het magnetron en met redelijke toleranties in de mechanische bewerking uitkomt.

Om een gemakkelijke montage te verzekeren en herstelwerkzaamheden te kunnen uitvoeren zonder de gehele versneller opnieuw te justeren, is de geplooide golfpijp met de bijbehorende onderdelen op zes driewielige wagentjes geplaatst, die op rails lopen. Desgewenst kunnen de wagentjes in hangende positie worden gemonteerd, waardoor de machine gemakkelijk bij de eisen van een eventuele medische toepassing kan worden aangepast.

Na een kort overzicht van de belangrijkste onderdelen van de volledige installatie en de eigenschappen daarvan worden een aantal onderdelen uitvoeriger beschreven. Hierbij komen ter sprake: de geplooide golfpijp, waarvan de opbouw uit 316 cellen, de fabricagemethode en de waterkoeling worden beschreven; — het electronenkanon, dat van een vacuumsluis is voorzien en waarvan de gloeistroomvoeding gestabiliseerd is met behulp van een schakeling met een magnetische diode; — het systeem van focusseerspoelen, dat om de golfpijp is aangebracht en dat is verdeeld in zes stukken, die worden bekrachtigd uit zes onafhankelijke voedingsapparaten, waarvan de gestabiliseerde stroom nog instelbaar is om een maximale stroomsterkte van de electronenbundel te kunnen verkrijgen; — het vacuumsysteem, dat een diffusiepomp met 1500 l/sec pompsnelheid (zonder dampvanger) bevat alsmede twee roterende voorpompen, die zijn aangesloten via magnetisch bediende kranen, en een uitgebreide meet- en beveiligingsinstallatie; — de modulator (van een soort als voor radar wordt gebruikt), die is geplaatst boven op de betonnen schuilkelder waarin de versneller is ondergebracht en die impulsen van 40 tot 50 kV en van een duur van 2 μsec met een maximale onzekerheid van 0,1 μsec aan het magnetron en aan het electronenkanon levert; — het rechthoekige-golfpijpsysteem, dat ter voorkoming van overslagen tot een lage druk is geëvacueerd en dat nog bevat de twee terugkoppelvorken (ronde-golfpijpbalansen, die bijzonder geschikt zijn voor het onderhavige geval, waar de bijeen te voegen vermogens niet onderling gelijk zijn), de fazedraaiers, voor welker aandrijving een speciale magnetische koppeling is ontwikkeld om vacuumdichte doorvoering van bewegende delen te vermijden, en de golfpijpthermokoppels, waarmee het vermogen op verschillende plaatsen wordt gemeten om de fazen voor een maximaal vermogen in de geplooide golfpijpen te kunnen instellen; — ten slotte de algemene opzet en uitvoering van de beveilingssystemen en van de voorzieningen op de bedieningslessenaar.

Het laatste gedeelte bevat een beschrijving van de methodes die zijn gebruikt voor het meten van de electronenenergie, het bundelvermogen (de bundelstroom wordt uit deze gegevens afgeleid), het energiespectrum, de opbrengst aan röntgenstralen en de radiale verdeling van de electronendichtheid in de bundel. De energie die wordt bereikt als de stroomsterkte van de electronenbundel 25 mA bedraagt en als de fazen in de terugkoppellussen zorgvuldig zijn ingesteld, ligt tussen 14 en 15 MeV. Op de trefplaat is 50% van het bundelvermogen binnen een cirkeltje van 8 mm diameter geconcentreerd. Op 1 meter afstand van de trefplaat werd een röntgenintensiteit gemeten van maximaal 2250 röntgen per minuut.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN GENERATOR TEN GEBRUIKE BIJ HET REPAREREN VAN TELEVISIEONTVANGERS

door B. W. van INGEN SCHENAU.

621.396.615.17:621.397.62.08

Het toenemend aantal televisieontvangers maakt maatregelen noodzakelijk om defecten snel te kunnen verhelpen. In het bijzonder dienen daartoe de reparateurs te beschikken over een gemakkelijk mee te nemen generator, die alle signalen kan leveren welke zij voor het onderzoek nodig hebben; zonder zulk een generator zou een reparateur zijn taak meestal alleen maar kunnen verrichten tijdens het werken van een naburige televisiezender.

De hieronder beschreven generator levert verschillende beeldsignalen, waarmee een groot aantal fouten in ontvangers snel kunnen worden opgespoord. Ook het geluidsgedeelte kan ermee worden onderzocht.

De verschillende televisienormen

Een televisieontvanger is een vrij ingewikkeld geheel. Het zal dan ook niemand verwonderen dat er zich wel eens storingen in kunnen voordoen. Een in geval van storing te hulp geroepen reparateur zal echter meestal maar weinig kunnen uitrichten indien het toestel niet een normaal televisiesignaal krijgt toegevoerd. Aangezien in de meeste landen de televisiezenders slechts enige uren per dag werken, bestaat er grote behoefte aan een generator die in staat is alle signalen te leveren welke voor het onderzoek dienstig kunnen zijn. Zulk een generator moet draagbaar zijn, zodat de reparateur hem op zijn tochten gemakkelijk kan meenemen. De in dit artikel besproken generator *) type GM 2887 (*fig. 1*) voldoet aan deze eis: het gewicht is ongeveer 7 kg, de afmetingen zijn 335 × 220 × 165 mm.

De signalen die de generator levert, moeten uiteraard in overeenstemming zijn met de televisienorm van het land waarin de generator dienst moet doen. (Onder televisienorm verstaat men de ge-

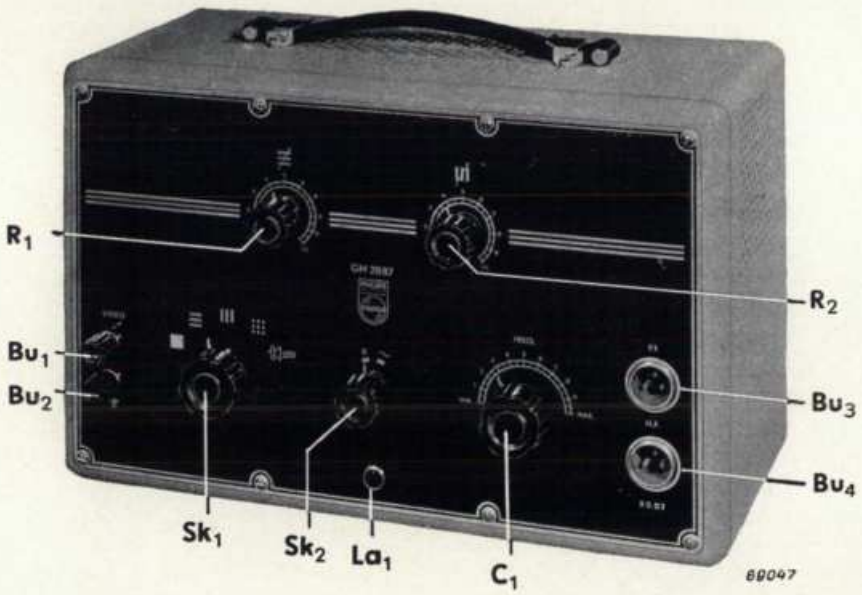


Fig. 1. De generator type GM 2887. Met de schakelaar Sk_1 en de knoppen R_1 en R_2 kunnen verschillende videosignalen en een audiosignaal worden gekozen. Met de knop C_1 varieert men de draaggolffrequentie. Aan de klemmen Bu_1-Bu_2 is het videosignaal beschikbaar, aan de contacten Bu_3 en Bu_4 het gemoduleerde hoogfrequente signaal. Sk_2 netschakelaar. La_1 signaallampje.

*) De ontwikkeling van deze generator is oorspronkelijk ter hand genomen door de heer H. C. Wardenaar.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zamenlijke gegevens die voor een televisiesysteem kenmerkend zijn.) In de verschillende landen zijn, helaas, verschillende normen van kracht. De belangrijkste punten ervan vindt men in *tabel I*. Hierin zijn opgenomen — voor zover hier van belang — a) de „internationale" norm, die destijds is voorgesteld door het Comité Consultatif International des Radiocommunications (C.C.I.R.) te Genève en door een groot aantal landen [1]) is aangenomen, b) de Britse, c) de Amerikaanse [2]) en d) de Franse norm. De verschillen tussen deze normen zijn van dien aard dat men voor al deze landen niet met één uitvoeringsvorm van een generator kan volstaan. Daarom wordt de generator GM 2887 gefabriceerd in vier uitvoeringen, onderscheiden door de letters A, B, C en D. De voornaamste gegevens vindt men vermeld in *tabel II*.

Zoals aanstonds zal blijken, kan met behulp van een generator GM 2887 aan een televisieontvanger het volgende worden onderzocht:

1) de synchronisatie,
2) de lineariteit van de verticale en de horizontale afbuiging,
3) de juiste aansluiting van de afbuigspoelen,
4) de sprongkarakteristiek van de videoversterker,
5) de gevoeligheid van de ontvanger (zeer globaal),
6) de werking van het gedeelte van de ontvanger dat zich achter de detector bevindt, en
7) het geluidsgedeelte.

Tabel I. Voornaamste gegevens uit de televisienorm van enige landen. f_s = frequentie van de geluidsdraaggolf. f_v = frequentie van de videodraaggolf. f_r = rasterfrequentie. T_l = tijd van het begin van een lijn tot het begin van de volgende lijn. A.M. = amplitudemodulatie. F.M. = frequentiemodulatie.

	„Internationale" norm [1])	Britse norm	Amerikaanse norm [2])	Franse norm
Beeldmodulatie *)	negatief	positief	negatief	positief
Lage freq. band (MHz)	41- 68	41-68	49- 88	—
Hoge freq. band (MHz)	174-223	—	174-216	174-216
$f_s - f_v$ (MHz)	+5,5	—3,5	+4,5	—11,15
f_r (Hz)	50	50	60	50
duur rastersync.sign.	$3T_l$	$4T_l$	$3T_l$	$0{,}4T_l$
duur rasteronderdrukk.	$(19\text{-}31)T_l$	$14T_l$	$(13\text{-}20)T_l$	$41T_l$
aantal lijnen	625	405	525	819
duur lijnsync.-impuls	$0{,}09T_l$	$0{,}10T_l$	$0{,}08T_l$	$0{,}05T_l$
duur lijnonderdrukking	$0{,}18T_l$	$0{,}15T_l$	$0{,}16T_l$	$0{,}16T_l$
geluidsmodulatie	F.M.	A.M.	F.M.	A.M.

*) Zie later (fig. 3).

[1]) Deze landen zijn: Argentinië, Denemarken, Finland, Italië, Joegoslavië, Nederland, Noorwegen, Oostenrijk, Spanje, Turkije, West-Duitsland, Zweden en Zwitserland.

[2]) In gebruik in de Verenigde Staten, Canada en verschillende landen van Latijns Amerika. In Brazilië wordt zowel met de Amerikaanse als met de internationale norm gewerkt.

Tabel II. Voornaamste kenmerken der vier uitvoeringsvormen van de generator GM 2887.

Uitvoering	Aantal lijnen	Lijnfreq. Hz	Freq. band MHz	Beeldmodulatie	Geluidsmodulatie	Norm
A	625	15625	40- 80	neg.	F.M.	„internat."
	525	15750				Amerikaans
B	405	10125	40- 80	pos.	A.M.	Brits
C	625	15625	170-230	neg.	F.M.	„internat."
	525	15750				Amerikaans
D	819	20475	170-230	pos.	A.M.	Frans

De signalen die de generator kan leveren, en wat men ermee kan doen

De generator bevat een *LC*-oscillator, waarvan de frequentie continu kan worden gevarieerd (hetzij van 40 tot 80 MHz, hetzij van 170 tot 230 MHz) door middel van de knop C_1 (fig. 1), die een draaicondensator bedient. De knop is niet voorzien van een frequentieschaal, daar dit de prijs aanzienlijk zou hebben verhoogd en het in bijna alle gevallen voldoende is dat men elk kanaal waarop de ontvanger afstembaar is, kan onderzoeken, zonder te weten of de frequentiegrenzen van deze kanalen juist zijn.

De oscillator levert een spanning die symmetrisch is ten opzichte van aarde [3]) en die wordt afgenomen aan het contact Bu_3, waar ze $2 \times (25$ tot $50)$ mV bedraagt, of, tot op circa $^1/_{50}$ verzwakt, aan het contact Bu_4. Een van deze contacten wordt verbonden met de antenneaansluitingen van het ontvangtoestel, door middel van een bij de generator behorende afgeschermde kabel. Deze heeft een golfweerstand van 80 ohm, een waarde die bij veel ontvangers een goede aanpassing geeft. Er zijn echter ook ontvangers met een ingangsimpedantie van 300 ohm; voor deze moet het kastje dat zich aan het eind van de kabel bevindt (*fig. 2*), zijn voorzien van een netwerk dat de juiste aanpassing bewerkstelligt.

Op de oscillatorspanning kunnen vijf verschillende signalen worden gemoduleerd; de schakelaar Sk_1 (fig. 1) geeft hieruit een keus. In de standen *1*, *2*, *3* en *4* van deze schakelaar — de videostanden — wordt de oscillatorspanning in amplitude gemoduleerd met synchronisatiesignalen en bepaalde beeldsignalen. In stand *5* — de audiostand — wordt ze, òf in frequentie (uitvoeringen A en C) òf in amplitude (uitvoeringen B en D), gemoduleerd met een audiofrequente spanning, voor het onderzoek van het geluidsgedeelte.

[3]) Alleen bij de uitvoering D is dit niet het geval, aangezien de meeste Franse ontvangers een asymmetrische ingang hebben.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

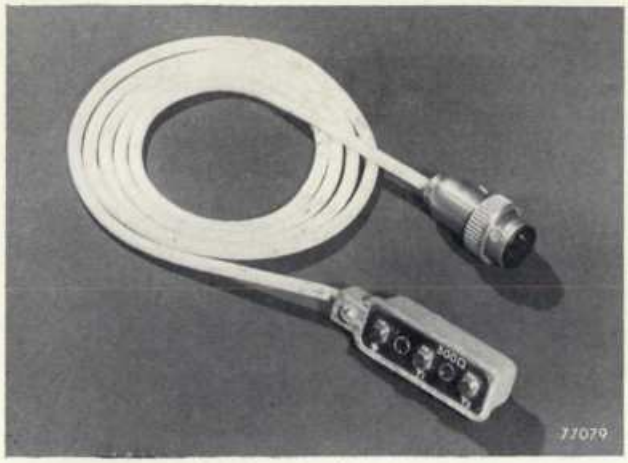


Fig. 2. Kabel ter verbinding van de generator met de te onderzoeken televisieontvanger. Het aansluitkastje op de voorgrond bevat een aanpassingsnetwerk voor ontvangers met een ingangsimpedantie van 300 ohm.

In de videostanden is de modulatie negatief bij de uitvoeringen A en C, positief bij de uitvoeringen B en D. Wat onder positieve en negatieve modulatie wordt verstaan, is toegelicht in *fig. 3*. Bij de nu volgende bespreking van de signalen die de generator kan leveren, zullen we ons beperken tot negatieve modulatie.

1) Synchronisatie

Zet men de schakelaar Sk_1 in stand *1*, dan heeft de uitgangsspanning op Bu_3 de vorm als is weergegeven in *fig. 4a*. De rechthoekige toppen zijn de lijnsynchronisatiesignalen. Aan weerszijden ervan bevindt het signaal zich even op zwartniveau: de voorgeschreven „voorstoep" en „achterstoep". Deze stoepen en de lijnsynchronisatie-impuls vormen samen het lijnonderdrukkingssignaal (fig. 4*b*); dit geeft een zwarte begrenzing aan weerszijden van het beeld en maakt de terugslag onzichtbaar. In het geval van fig. 4*a* heeft de hoogfrequente spanning, tussen de lijnsynchronisatiesignalen in, een kleine amplitude, die overeenkomt met „wit". Met een frequentie gelijk aan de netfrequentie wordt een rastersynchronisatiesignaal gegeven (niet te zien in fig. 4*a*); ook dit signaal wordt begeleid door een voor- en een achterstoep, zodat het beeld ook van boven en van onderen een zwarte begrenzing heeft en de verticale terugslag onzichtbaar is.

Voert men het in fig. 4*a* afgebeelde signaal toe aan de antenneklemmen van een televisieontvanger, dan moeten de horizontale en de verticale afbuiging door de generator gesynchroniseerd en de terugslag onzichtbaar worden gemaakt en het scherm gelijkmatig wit worden.

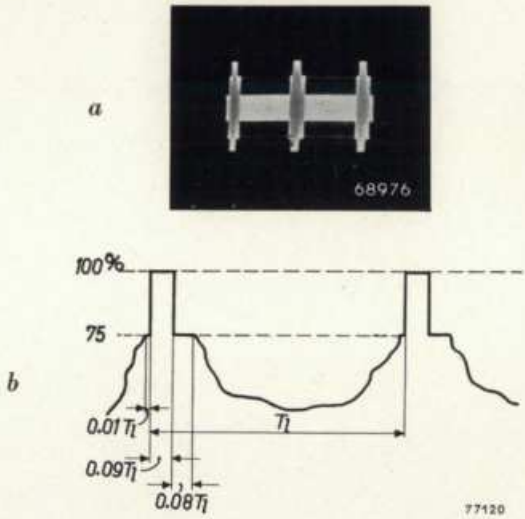


Fig. 4. *a*) Oscillogram van de hoogfrequente uitgangsspanning, waarin lijnonderdrukkingssignalen zijn te zien, met daartussen het beeldsignaal „wit" (negatieve modulatie). *b*) Lijnsynchronisatie-impuls met links de voorstoep en rechts de achterstoep (beide op zwartniveau), en een willekeurig beeldsignaal (negatieve modulatie). De aangegeven tijdsduren gelden voor de internationale norm.

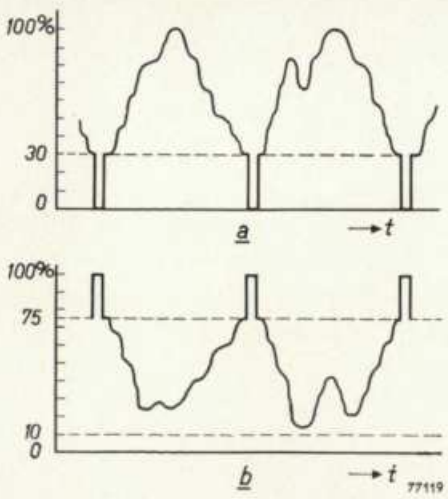


Fig. 3. *a*) Positieve, *b*) negatieve modulatie. Het witniveau, het zwartniveau en de synchronisatietoppen liggen bij positieve modulatie op resp. 100%, 30% en 0, en bij negatieve modulatie op resp. 10%, 75% en 100% signaalsterkte.

2) Lineariteit van de afbuigingen

Indien de ontvanger in dit opzicht bevredigend werkt, zet men de schakelaar Sk_1 in stand *2*. Hierbij is het beeldsignaal zodanig (*fig. 5a*) dat met tussenpozen (waarin de bundel onderdrukt is) reeksen witte lijnen worden geschreven, zodat op het scherm horizontale witte balken zichtbaar worden (*fig. 6a*). Zijn deze balken niet even breed, dan is de verticale afbuiging niet lineair. De meeste toestellen hebben inwendig een knop waarmee men kan instellen op zo gering mogelijke niet-lineariteit.

In stand *3* van de schakelaar Sk_1 krijgt het uitgangssignaal de in fig. 5*b* afgebeelde vorm. Iedere

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

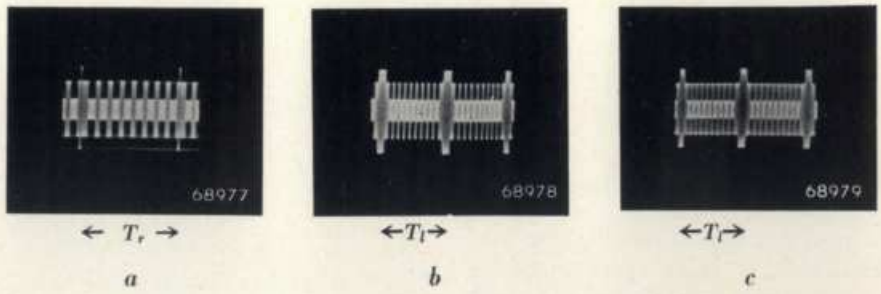


Fig. 5. Oscillogrammen van de hoogfrequente uitgangsspanning (alle met negatieve modulatie). *a*) Horizontale balken, *b*) verticale balken, *c*) horizontale en verticale balken. T_r rasterperiode, T_l lijnperiode.

lijn bestaat hier uit witte en zwarte stukken, die verticale balken vormen (fig. 6*b*). Eventuele breedteverschillen tussen deze balken bewijzen dat de horizontale afbuiging niet lineair geschiedt en bijregeling behoeft.

De horizontale en de verticale balken worden gecombineerd als men de schakelaar Sk_1 in stand *4* zet. Fig. 5*c* geeft de vorm van het dan geleverde signaal weer en fig. 6*c* is een foto van het patroon dat op het scherm zichtbaar moet worden.

van onderen af, en bij vergroting van het aantal verticale balken moet de aanvoer geschieden aan de rechterkant. Aanvoer van boven resp. van links bewijst dat het verticaal resp. het horizontaal afbuigende spoelenpaar verkeerd is aangesloten.

4) Sprongkarakteristiek

De balken behoren over hun gehele breedte een gelijkmatige helderheid te vertonen, maar er kunnen zich afwijkingen voordoen, waarvan *fig. 7a* een voor-

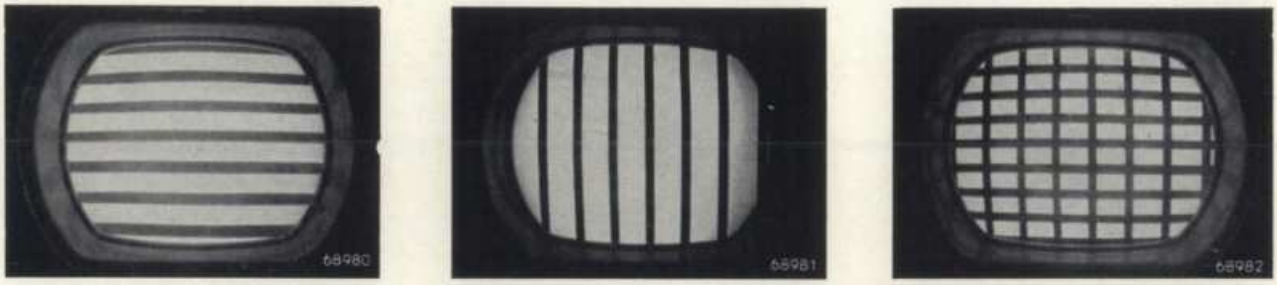


Fig. 6. Beelden die op de weergeefbuis zichtbaar moeten worden. *a*) Horizontale balken, *b*) verticale balken, *c*) horizontale en verticale balken.

Voor het opnemen van de oscillogrammen fig. 4 en fig. 5 werd de uitgangsspanning van de generator getransponeerd naar een lagere frequentie (10 MHz). Gebruik werd gemaakt van een oscillograaf type GM 5653.

3) Juiste aansluiting van de afbuigspoelen

Bij een reparatie bestaat de kans dat de aansluitingen van de afbuigspoelen worden verwisseld. Daardoor zou op het scherm een omgekeerd beeld ontstaan (onder en boven verwisseld, of links en rechts, of beide). Door de symmetrie van de balkenfiguren is een dergelijke omkering niet zichtbaar. Een middel om deze fout te constateren wordt aan de hand gedaan door het feit dat het aantal balken continu variabel is (van 6 tot 10), door middel van de regelknoppen R_1 voor de horizontale en R_2 voor de verticale balken (fig. 1). Vergroot men namelijk het aantal horizontale balken, dan moeten op het scherm de bijkomende balken worden aangevoerd

beeld laat zien. De ontvanger vervormt hier de rechthoekige impulsen van het videosignaal tot „inzakkende" impulsen (fig. 7*b*), als gevolg van verzwakking van de laagfrequente componenten. De

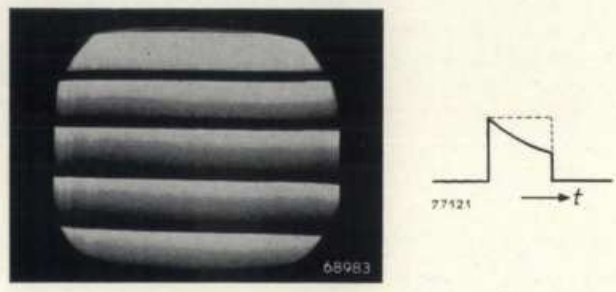


Fig. 7. *a*) Horizontale balken met ongelijkmatige helderheid, ontstaan doordat een rechthoekige impuls (gestippeld in *b*) in de ontvanger wordt vervormd tot een „inzakkende" impuls (getrokken).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

oorzaak hiervan kan zijn dat in de ontvanger een verbinding met een koppelcondensator is verbroken, zodat de zeer kleine capaciteit tussen twee draden als koppelcapaciteit fungeert.

Ook zonder dat er een defect in de ontvanger is, kan zich in de verticale balken een helderheidsverloop voordoen, namelijk wanneer de generator niet goed op de ontvanger is afgestemd. Het is dus zaak, met de afstemknop van de generator of van de ontvanger in te stellen op zo gelijkmatig mogelijke helderheid, voordat men tot een fout in de ontvanger concludeert.

Dat bij onjuiste afstemming de verticale balken ongelijkmatige helderheid zullen vertonen, wordt verduidelijkt door *fig. 8*. In fig. 8*a* is (geïdealiseerd) de doorlatingskromme van één kanaal van de ontvanger getekend zoals deze kromme volgens de internationale norm moet zijn. De videodraaggolffrequentie f_t moet gelijk zijn aan de abscis van het midden A van de linkerflank der kromme; de laagfrequente video-

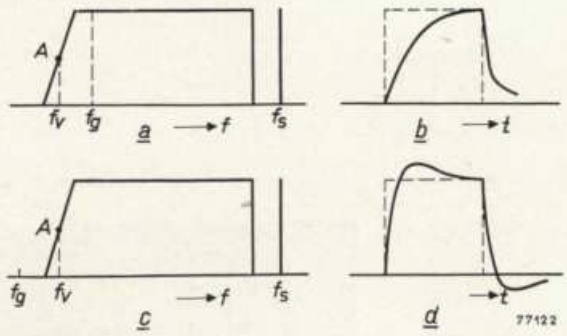


Fig. 8. *a*) Doorlatingskromme van één kanaal van een televisieontvanger, volgens het C.C.I.R. De videodraaggolffrequentie f_t moet gelijk zijn aan de abscis van het midden A van de linkerflank. f_s geluidsdraaggolffrequentie. De draaggolffrequentie f_g van de generator is hier hoger dan f_t ondersteld.
b) In het geval *a*) wordt een rechthoekige impuls in de ontvanger vervormd tot een geleidelijk aangroeiende en afnemende impuls.
c) Als *a*), doch met $f_g < f_t$.
d) In geval *c*) wordt een rechthoekige impuls vervormd tot een „doorschietende".

componenten, die door de zender worden uitgezonden in twee zijbanden, komen dan even sterk door als de hoogfrequente, uitgezonden in één zijband. Ligt nu de draaggolffrequentie f_g van de generator iets boven f_t, dan ontstaat in de ontvanger een overmaat aan laagfrequente componenten, met het gevolg dat een rechthoekige impuls wordt vervormd als getekend in fig. 8*b* en dat de helderheid van links naar rechts geleidelijk toeneemt. Wanneer f_g iets beneden f_v ligt (fig. 8*c*), dan ontstaat een tekort aan laagfrequente componenten, en de rechthoekige impuls wordt vervormd tot een „doorschietende" (fig. 8*d*), met een overeenkomstig helderheidsverloop.

5) *Gevoeligheid*

Door de ontvanger aan te sluiten op het contact Bu_4 (fig. 1), alwaar de spanning $^1/_{50}$ is van de spanning op Bu_3, krijgt men een globale indruk van de gevoeligheid van het toestel. Met deze verzwakte ingangsspanning moeten de synchronisatie gehandhaafd en het balkenpatroon goed zichtbaar blijven, zij het dan ook dat het beeld enige ruis kan vertonen (gelijkend op dwarrelende sneeuwvlokjes).

6) *Videosignaal*

Het kan voorkomen dat zich in de ontvanger een defect bevindt vóór de eindbuis van de videoversterker, maar dat men niettemin de werking van deze buis en de weergeefbuis wil controleren. Men kan daartoe het videosignaal van de generator, dat ter grootte van circa 1 V aan de klemmen Bu_1-Bu_2 (fig. 1) voorhanden is, rechtstreeks toevoeren aan de genoemde eindbuis.

Van deze klemmen kan men ook gebruik maken om de werking van de generator zelf te controleren, door er een oscillograaf op aan te sluiten. Om een getrouwe afbeelding van het videosignaal te geven, moet de oscillograaf in staat zijn, impulsen met een stijgtijd van $^1/_4$ µs goed weer te geven. De oscillograaf GM 5653 voldoet aan deze eis.

7) *Geluid*

Vermeld werd al dat met de schakelaar Sk_1 in stand 5 het geluidsgedeelte van de ontvanger kan worden onderzocht. De oscillator wordt dan (in frequentie of in amplitude) gemoduleerd met een audiofrequent signaal, en wel met de spanning geleverd door de generator voor de horizontale balken. Deze spanning is kanteelvormig en heeft een grondfrequentie die regelbaar is van circa 300 tot 500 Hz. Om het geluid aangenamer van klank te maken, wordt door een eenvoudig filter de rechthoekige vorm enigszins afgerond en wordt het rastersynchronisatiesignaal (impulsen met de netfrequentie) eruit verwijderd gehouden.

Gewichtsbesparing door vereenvoudiging

De in gebruik zijnde televisienormen, hoeveel zij ook van elkaar verschillen, komen hierin overeen dat zij geïnterlinieerde aftasting voorschrijven en dat derhalve de lijnfrequentie precies een oneven veelvoud van de rasterfrequentie moet zijn [4]). Er is een ingewikkelde apparatuur nodig om, door frequentiedeling, de rasterfrequentie uit de lijnfrequentie af te leiden. Voorts zijn bij alle televisienormen de synchronisatiesignalen, vooral het rastersynchronisatiesignaal, vrij gecompliceerd van vorm [5]).

[4]) Zie bijv. Philips techn. T. **10**, 307 e.v., 1948, of W. Werner en F. Kerkhof, Televisie (Philips techn. Bibliotheek), blz. 5 en 6.

[5]) Zie voor de synchronisatiesignalen volgens de internationale norm bijv.: Standards for the international 625-line black and white television system, Sub-group Gerber, C.C.I.R. Genève, October 1950, of Philips techn. T. **13**, 295 (fig. 1), 1951, en voor die volgens de Engelse en de toenmalige Franse norm bijv. Philips techn. T. **10**, 305 (fig. 1), 1948; ook: International television standards, Wireless World **48**, 296-297, Aug. 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het opwekken van deze signalen vereist eveneens een omvangrijke apparatuur. Men vindt dit alles (en bovendien nog een hoogfrequentieoscillator en een kleine oscilloscoop) verenigd in een standaardgenerator (type GM 2657) die voor laboratoriumdoeleinden is ontwikkeld. Voor het gebruik ten huize van de toestelbezitters en in een reparatiewerkplaats echter is een dergelijk apparaat te groot, te zwaar en te kostbaar. Daarom is bij het ontwerpen van de generator GM 2887, waarover dit artikel handelt, ernaar gestreefd zodanige vereenvoudigingen aan te brengen dat afmetingen, gewicht en prijs drastisch worden verminderd, zonder afbreuk te doen aan de bruikbaarheid voor het specifieke doel.

Dat dit streven een gunstig resultaat heeft gehad, is voor een groot deel hieraan te danken dat de eis van een vaste verhouding tussen lijnfrequentie en rasterfrequentie is losgelaten, zodat de reeks frequentiedelers komt te vervallen. Het gevolg is natuurlijk dat nu de beeldlijnen niet zullen stilstaan, maar in verticale richting willekeurig verschuiven.

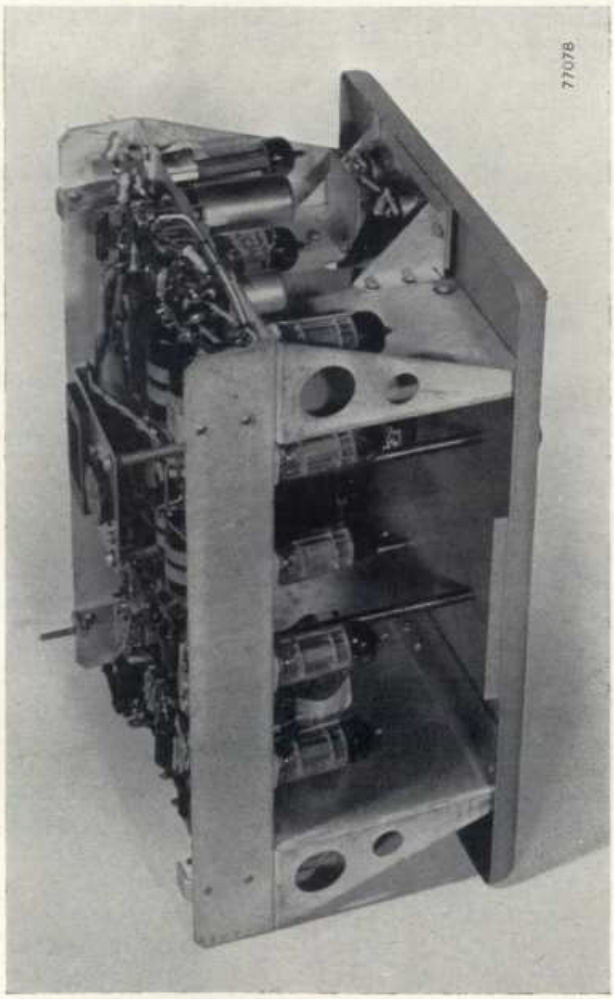


Fig. 9. Het inwendige van de generator GM 2887. Het zwaarste onderdeel, de transformator, is in het midden geplaatst en de buizen eromheen.

Een geringe achteruitgang van de beeldkwaliteit is hiervan het gevolg, doch bij de eenvoudige balkenfiguren is deze nauwelijks merkbaar en geenszins een belemmering voor het opsporen van defecten.

Het vervallen van de interliniëring brengt mee dat het lijnsynchronisatiesignaal kan worden vereenvoudigd, aangezien de zg. egalisatie-impulsen dan geen zin meer hebben en dus achterwege kunnen blijven (egalisatie-impulsen zijn extralijnimpulsen, die bij systemen met interliniëring nodig zijn wegens het feit dat daar het rastersynchronisatiesignaal afwisselend aan het eind van een lijn en midden in een lijn optreedt [6]).

Behalve door deze vereenvoudigingen, is het aantal buizen klein gehouden door het gebruik van dubbele buizen: de generator GM 2887 bevat negen triodes-penthodes ECL 80 en twee dubbele triodes ECC 81, en verder één gelijkrichtbuis AZ 41 en één neonbuis, in totaal dus 13 buizen. Het totale gelijkstroomverbruik is klein (45 mA), en het totale uit het net opgenomen vermogen kon worden beperkt tot circa 40 W, zodat een kleine en lichte transformator in staat is de generator te voeden.

Fig. 9 geeft een beeld van het inwendige. Ter vergemakkelijking van het dragen is het zwaarste onderdeel, de transformator, in het midden aangebracht. De buizen zijn eromheen geplaatst en dus goed bereikbaar.

Bespreking van het schema in gedeelten

Blokschema

Fig. 10 is het blokschema van de generator. Als we dit schema van achteren naar voren doorlopen, beginnen we rechts bij de modulator (*Mod*), waarin het videosignaal, afkomstig van het gedeelte *Vid*, wordt gemoduleerd op de hoogfrequente spanning, geleverd door de oscillator (*Osc*). Het gedeelte *Vid* is een „opteltrap", waarin het beeldsignaal, geleverd door *P*, en de synchronisatiesignalen, afkomstig van *Sync*, worden samengevoegd. Ook *P* en *Sync* zijn opteltrappen. Vanuit een generator *HB* kan het signaal der horizontale balken, en vanuit een generator *VB* kan dat der verticale balken aan de trap *P* worden toegevoerd. De opteltrap *Sync* krijgt lijn- en rastersynchronisatie-impulsen toegevoerd. De eerstgenoemde worden opgewekt door een generator *LS*, bestuurd door de vrij trillende oscillator *LO*. Een generator *RS* brengt de rastersynchronisatiesignalen voort en wordt gesynchroniseerd door een generator *RB*, die het rasteronderdrukkingssignaal opwekt en daarbij op zijn beurt wordt bestuurd

[6]) Zie bijv. Philips techn. T. **13**, 295 (fig. 1), 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

door impulsen met de netfrequentie; deze worden in een netwerk N afgeleid uit de netspanning. Een generator LB levert het lijnonderdrukkingssignaal en wordt gesynchroniseerd door LS.

Via de schakelaars S_1 en S_2 kan men naar keuze òf alleen horizontale balken òf alleen verticale òf beide tegelijk inschakelen. Voor het onderzoek van het geluidsgedeelte komt S_1 in de bovenste stand (fig. 10) te staan; de generator der horizontale balken werkt dan, bij de uitvoeringen met frequentie-

De generator van het onderdrukkingssignaal, RB, werkt eveneens met een buis ECL 80 in een soortgelijke schakeling, doch de twee buishelften zijn zo ongelijk ingesteld dat we te doen hebben met een monostabiele generator (flip-flap). De lekweerstand van het trioderooster is verbonden met een punt van hoge positieve spanning, het penthodestuurrooster heeft een negatieve voorspanning (het spanningsverval in een kathodeweerstand); dientengevolge heeft de schakeling een rusttoestand, waarin alleen de triode geleidt. Komt op het trioderooster een negatieve impuls, dan wordt de triode tijdelijk stroomloos en gaat de penthode geleiden. Daarmee is een quasistabiele toestand ontstaan, die enige tijd — afhankelijk

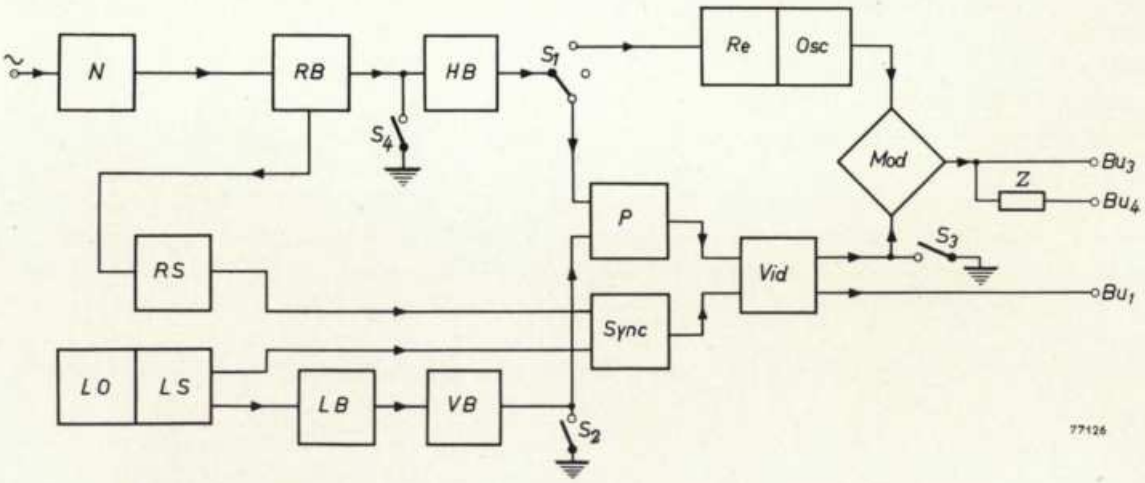


Fig. 10. Blokschema van de generator GM 2887. N generator van impulsen met de netfrequentie. RB generator rasteronderdrukkingssignaal. RS generator rastersynchronisatiesignaal. HB generator horizontale balken. LO vrij trillende lijnoscillator. LS generator lijnsynchronisatiesignaal. LB generator lijnonderdrukkingssignaal. VB generator verticale balken. P opteltrap horizontale en verticale balken. $Sync$ opteltrap van de signalen voor horizontale en verticale synchronisatie. Vid opteltrap beeld- en synchronisatiesignalen. Re reactantiebuisnetwerk (alleen in de uitvoeringen met frequentiemodulatie). Osc hoogfrequentieoscillator. Mod modulator. Bu_1 klem waarop het videosignaal beschikbaar is. Bu_3 contact met gemoduleerde hoogfrequente uitgangsspanning. Bu_4 contact voor idem doch tot op ca. $^1/_{50}$ verzwakt door de verzwakker Z. S_1, S_2, S_3 en S_4 schakelaars.

modulatie, op een reactantiebuis (Re), die de oscillator Osc in frequentie moduleert. Bovendien zijn dan S_3 en S_4 gesloten: S_3 sluit de ingang van de modulator kort, zodat er geen videosignaal op kan komen (de modulator werkt dan eenvoudig als versterker), en S_4 verhindert dat in het door HB geleverde audiosignaal onderdrukkingssignalen voorkomen, die door hun frequentie (50 Hz) het geluid onaangenaam van klank zouden maken.

Verschillende van de genoemde netwerken worden in het onderstaande nader besproken.

Relaxatiegeneratoren

Ettelijke van de opgesomde netwerken zijn relaxatiegeneratoren, die een signaal van een rechthoekige krommevorm opwekken. Het zijn de netwerken RB, HB, RS, LB en VB.

In HB, de generator van de horizontale balken, wordt een triode-penthode ECL 80 gebruikt, die als multivibrator werkt. De frequentie kan worden veranderd van circa 300 tot 500 Hz, overeenkomend met ongeveer 6 tot 10 horizontale balken.

van weerstands- en capaciteitswaarden — blijft bestaan waarna vanzelf de oorspronkelijke toestand terugkeert. In de quasistabiele toestand heeft de anode van de penthode, wegens het spanningsverlies in de bijbehorende anodeweerstand, een verlaagde potentiaal. Dit is ook het geval met het schermrooster van de multivibrator HB, welk rooster met de genoemde anode is gekoppeld. De schermroosterpotentiaal daalt zelfs tot beneden de kathodepotentiaal van HB, zodat de multivibrator niet werkt zolang RB in de quasistabiele toestand verkeert.

Zoals gezegd, wordt deze laatste toestand telkens ingeleid door een negatieve impuls op het trioderooster van RB. Het netwerk N vormt deze impulsen uit de netspanning, op de volgende wijze. Een op het net aangesloten transformator voedt over een weerstand een met neon gevulde glimbuis (type Z1M). De spanning over deze buis verloopt volgens de getrokken lijn in *fig. 11a*. Bij elke ontsteking van de buis treedt een spanningssprong op, van de ontsteekspanning naar de brandspanning. Met behulp van een differentiërend netwerk verkrijgt men bij iedere spanningssprong een impuls (fig. 11*b*), dus één positieve en één negatieve impuls per periode van de netspanning. Iedere negatieve impuls brengt de generator RB van de stabiele in de quasistabiele toestand en stopt daarmee de multivibrator HB.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De generator *RS* van het rastersynchronisatiesignaal is in hoofdzaak net zo ingericht als *RB* en wordt door *RB* — in laatste instantie dus door de netfrequentie — bestuurd. *RB* en *RS* gaan derhalve telkens tegelijk over in de quasi-stabiele toestand, maar bij *RB* duurt deze langer dan bij *RS*; het verschil is de duur van de achterstoep.

De generatoren *LS*, *LB* en *VB* wekken resp. het lijnsynchronisatiesignaal, het lijnonderdrukkingssignaal en het signaal van de verticale balken op, geheel analoog met *RS*, *RB*

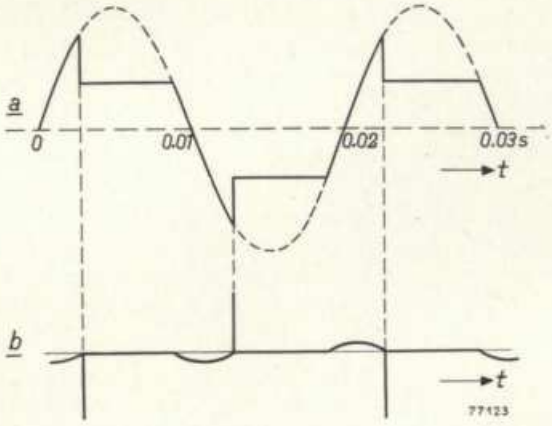


Fig. 11. *a*) Gestippeld: sinusvormige spanning met netfrequentie. Getrokken: spanning over de neonbuis in netwerk *N*. Uit deze laatste spanning ontstaat door differentiëren een impulsvormige spanning (*b*).

en *HB*. Alleen de frequentie is natuurlijk veel hoger: *LS* en *LB* werken met de lijnfrequentie f_l, die, al naar de vigerende norm, ongeveer 10, 15 of 20 kHz bedraagt, en *VB* werkt met een frequentie die van $6f_l$ tot $10f_l$ regelbaar is.

Lijnoscillator en lijnsynchronisator

De lijnfrequentie f_l wordt bepaald door de *LC*-kring van een vrij trillende oscillator (*LO*). De capaciteit is vast en de zelfinductie is door middel van een verschuifbare kern van Ferroxcube eens voor al zo ingesteld dat f_l zo dicht mogelijk bij de gewenste waarde komt.

Uit de sinusvormige spanning van deze oscillator moeten de impulsen worden afgeleid die *LS* en *LB* synchroniseren. Dit geschiedt op de volgende wijze.

Over de *LC*-kring van *LO* ontstaat een sinusvormige spanning van circa 200 V amplitude. Een deel hiervan (v_2) wordt via een roostercondensator en lekweerstand toegevoerd aan het trioderooster van de buis ECL 80 waarvan de penthode dienst doet als oscilleerbuis in *LO*. Daar de amplitude van de wisselspanning v_2 de roosterruimte vele malen overtreft, ontstaat een hoge negatieve voorspanning (*fig. 12a*), zodat de triode alleen bij de positieve toppen van de wisselspanning even stroom doorlaat (fig. 12*b*). Deze anodestroomimpulsen stoten een tweede *LC*-kring aan; de spanning v_3 over deze kring heeft een verloop als in fig. 12*c* is geschetst. Deze spanning wordt gebruikt voor het opwekken van de lijnsynchronisatie-impulsen, en wel zodanig dat deze impulsen tijdens de rastersynchronisatie blijven doorlopen, zodat de lijnzaagtandgenerator van de ontvanger geen kans krijgt, uit de pas te geraken. Het zou hier te ver voeren, op bijzonderheden van deze schakeling in te gaan.

Opteltrappen

In de generator GM 2887 komen drie opteltrappen voor: *P*, *Sync* en *Vid* (fig. 10); in *P* wordt het beeldsignaal, in *Sync* het synchronisatiesignaal gevormd, en *Vid* combineert deze

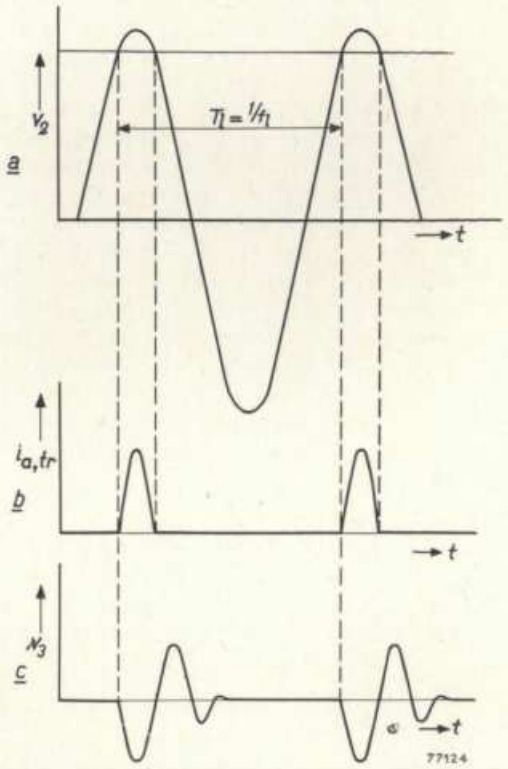


Fig. 12. *a*) Sinusvormige spanning v_2 over een deel van de *LC*-kring van de lijnoscillator *LO*. Alleen de toppen van v_2 vallen in de roosterruimte van de triode van *LS*.
b) Impulsvormige anodestroom van de triode van *LS*.
c) De gedempte wisselspanning v_3 over de *LC*-kring van *LS*.

beide tot het videosignaal. Onder „optellen" van de twee signalen, v' en v'', verstaan we hier eigenlijk het vormen van een lineaire combinatie, $av' + bv''$. Zoals in *fig. 13* is voorgesteld, kan dit geschieden met behulp van twee buizen die een gemeenschappelijke anodeweerstand hebben. De bedoelde opteltrappen werken volgens dit principe; bij elk zijn de twee buizen van fig. 13 gecombineerd tot één dubbele buis, wederom van het type ECL 80.

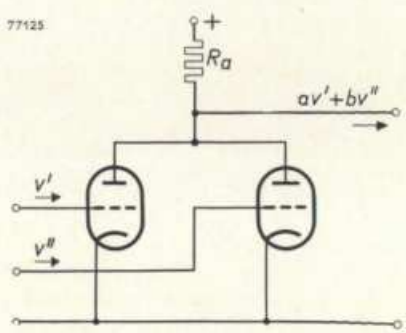


Fig. 13. Principe van een opteltrap: twee versterkbuizen met een gemeenschappelijke anodeweerstand R_a. Aan de anodes ontstaat een signaal $av' + bv''$, dat een lineaire combinatie is van de signalen v' en v'' op elk der roosters.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Oscillator, modulator en reactantiebuisnetwerk

De in fig. 10 getekende netwerken voor zover we ze nu hebben besproken, zijn voor de vier uitvoeringen (A, B, C en D) gelijk, op de lijnfrequentie en op het frequentiegebied van *VB* na. Er resteren echter nog drie netwerken: de hoogfrequentieoscillator *Osc*, de modulator *Mod* en (bij de uitvoeringen met frequentiemodulatie) het reactantiebuisnetwerk *Re*. Deze vormen tezamen een eenheid. We zullen hier in hoofdzaak alleen de uitvoeringen A en C bespreken.

De helft *II* van een dubbele triode ECC 81 (*fig. 14*) vormt met een trillingskring L_1C_1 de hoogfrequentieoscillator. De andere buishelft, *I*, doet in de uitvoeringen met frequentiemodulatie (A en C) dienst als reactantiebuis, dwz. ze gedraagt zich als een aan de kring L_1C_1 parallelgeschakelde reactantie waarvan de grootte afhangt van de steilheid der buis. Deze steilheid varieert met het audiofrequente signaal, zodat de oscillatorspanning in frequentie wordt gemoduleerd. Zoals al werd opgemerkt, fungeert het signaal van de horizontale balken, opgewekt door de generator *HB*, als audiofrequent signaal.

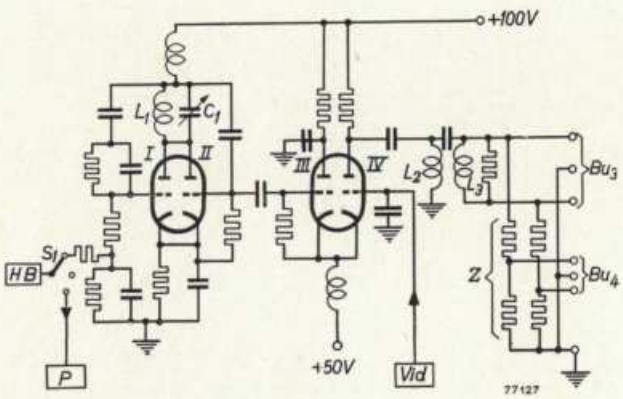


Fig. 14. Schakeling van het reactantiebuisnetwerk, de hoogfrequentieoscillator en de modulator. Van twee dubbele triodes ECC 81 doet de helft *I* dienst als reactantiebuis, de helft *II* (met de trillingskring L_1C_1) als oscillator, de helft *III* als versterker in anodebasisschakeling en de helft *IV* als modulator. Het rooster van *IV* is voor hoge frequenties over een condensator geaard en krijgt het videosignaal toegevoerd uit de opteltrap *Vid*, die het beeldsignaal en het synchronisatiesignaal combineert. Door middel van de gekoppelde spoelen L_2 en L_3 wordt aan het contact Bu_3 een symmetrische uitgangsspanning verkregen, die door een potentiometer van weerstanden (*Z*) tot op ca. $^1/_{53}$ verzwakt beschikbaar is aan het contact Bu_4. Via de schakelaar S_1 komt een audiofrequent signaal op de reactantiebuis.

De oscillatorspanning werkt op de helft *III* van een tweede dubbele triode ECC 81. Deze helft bevindt zich in anodebasisschakeling. De kathode is dus de uitgangselectrode; ze is verbonden met de kathode van de andere buishelft (*IV*), die als modulator fungeert. Op het rooster van *IV*, dat voor hoogfrequente spanning over een condensator is geaard, wordt het videosignaal toegevoerd, ontleend aan de opteltrap *Vid*. Het uitgangssignaal wordt afgenomen aan de anode van *IV* en in de uitvoeringen *A*, *B* en *C* met behulp van twee gekoppelde spoelen (L_2-L_3) symmetrisch ten opzichte van aarde gemaakt. In deze vorm is het beschikbaar aan het contact Bu_3 en, door een potentiometer (*Z*) van weerstanden tot op circa $^1/_{53}$ verzwakt, ook aan het contact Bu_4.

Het toevoeren van het videosignaal aan de modulator geschiedt met zodanige polariteit dat de modulatie het gewenste teken heeft; de internationale en de Amerikaanse norm vereisen immers negatieve, de Britse en de Franse norm positieve modulatie.

De uitvoeringsvormen van de generator GM 2887 voor deze beide laatste systemen — uitvoeringen B en D — wijken in zoverre van het schema van fig. 14 af dat het geluidskanaal niet wordt gemoduleerd in frequentie maar in amplitude.

Samenvatting. De beschreven generator type GM 2887 levert signalen waarmee allerlei fouten in televisieontvangers zijn op te sporen, ook buiten de werktijden van naburige televisiezenders. Bovendien kan men met behulp ervan het beeld op de juiste wijze instellen. Bij het ontwerpen is ernaar gestreefd de generator gemakkelijk vervoerbaar te maken (gewicht 7 kg, afmetingen 335 × 220 × 165 mm). Het aantal buizen kon beperkt blijven tot 13 (9 triodes-penthodes ECL 80, 2 dubbele triodes ECC 81, 1 gelijkrichtbuis AZ 41 en 1 neonbuis Z1M) — ten eerste dank zij het gebruik van dubbele buizen, en ten tweede doordat ervan is afgezien de rasterfrequentie door deling af te leiden uit de lijnfrequentie, zodat frequentiedelers kwamen te vervallen. Als rasterfrequentie wordt de netfrequentie gebruikt, en de lijnfrequentie wordt opgewekt door een vrij trillende *LC*-oscillator. Dat bij gevolg de beeldlijnen niet stilstaan, is bij de eenvoudige figuren die de generator levert (horizontale en/of verticale balken) geen bezwaar. Wegens het feit dat in de diverse landen verschillende televisienormen in gebruik zijn, wordt de generator gefabriceerd in vier uitvoeringen:
A en C met negatieve beeldmodulatie, geluid frequentiemodulatie, 625 of 525 lijnen, A voor de lage en C voor de hoge frequentieband van de landen met de „internationale" of de Amerikaanse norm;
B en D met positieve beeldmodulatie, geluid amplitudemodulatie, B met 405 lijnen (Britse norm), D met 819 lijnen (Franse norm).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2041: B. H. Schultz: Approximative formulæ in the theory of thermal regenerators (Appl. sci. Res. **A 3**, 165-173, 1952, No. 3).

De toepassing van de theorie van Hausen voor de temperatuur en het nuttig effect van thermische regeneratoren vereist zeer omslachtige berekeningen. Aangetoond wordt dat, in zekere grensgevallen, met behulp van een storingstheorie eenvoudiger formules kunnen worden afgeleid. Deze formules bevatten reeksontwikkelingen van de fluctuerende temperaturen en van het nuttig effect in afhankelijkheid van het „gereduceerde oppervlak" (Λ) en de „gereduceerde warmtecapaciteit" (Γ) van de regenerator, voor de gevallen $\Gamma \gg 1$ of $\Lambda \ll 1$.

2042: I. Pelchowitch en J. J. Zaalberg van Zelst: A wide-band electrometer amplifier (Rev. sci. Instr. **23**, 73-75, 1952, No. 2).

Aangetoond wordt dat door een oordeelkundige terugkoppeling het mogelijk is een electrometerversterker te bouwen met een brede frequentieband en een stabiele, vlakke karakteristiek. Door analyse blijkt dat de verhouding signaal-geruis de gunstigste waarde vertoont als de gemiddelde frequentie van de versterker laag is. Enkele practische gegevens betreffende het netwerk worden verstrekt.

2043: J. D. Fast: The allotropic transformation of hafnium and a tentative equilibrium diagram of the system zirconium-hafnium (J. appl. Physics **23**, 350-351, 1952, No. 3).

Aangetoond wordt dat het overgangspunt van hafnium minstens 550 °C hoger ligt dan de door Duwez aangegeven waarde, en wel vermoedelijk bij 1950 ± 100 °C. Een voorlopig fazediagram voor het systeem zirconium-hafnium wordt aangegeven. Hieruit blijkt dat het overgangspunt van hafnium zeer sterk daalt door kleine toevoegingen van zirconium.

2044*: J. M. Stevels: Expériences et théories sur le facteur de puissance des verres en fonction de leur composition, III (Verres et Réfractaires **6**, 3-7, 1952, No. 1).

Franse vertaling van **R 189.**

2045: F. A. Kröger en J. A. M. Dikhoff: The function of oxygen in zinc sulphide phosphors (J. Electrochem. Soc. **99**, 144-154, 1952, No. 4).

Bij 1200 °C vormen zinksulfide (ZnS) en zinkoxyde (ZnO) vaste oplossingen van de samenstelling ZnS-1 mol% ZnO en ZnO-0,3 mol% ZnO. Het inbouwen van ZnO in ZnS veroorzaakt een nieuwe absorptieband en, bij aanwezigheid van activatoren, nieuwe fluorescentiebanden, die, vergeleken met de oorspronkelijke banden van ZnS, 150 Å in de richting van grote golflengten verschoven zijn. De genoemde effecten kunnen verklaard worden door het aannemen van aparte zuurstofniveaus, 0,1 eV boven de „volle band", en door nieuwe centra, bestaande uit activatorionen geassocieerd met een zuurstofion. De vorming van dergelijke paren en de vergroting van de intensiteit van de fluorescentie kunnen verklaard worden door het principe van volumecompensatie. Dit principe vormt een logische aanvulling van het principe van ladingscompensatie, dat reeds vroeger is ingevoerd in verband met het inbouwen van ionen van een zekere valentie in een rooster van ionen van een andere valentie. Verder wordt aangetoond dat zuurstof aanleiding geeft tot het vormen van vangplaatsen (traps) en ook dat zuurstof een bijzondere rol speelt in verband met „vloeimiddelen", die de kristallisatie moeten bevorderen. De optische eigenschappen van ZnO waarin een weinig ZnS is opgenomen, worden op analoge wijze verklaard.

R 198: M. E. Wise: Dense random packing of unequal spheres (Philips Res. Rep. **7**, 321-343, 1952, No. 5).

Gegeven is een verzameling harde bollen met een statistische verdeling van de stralen r. Deze bollen zijn dicht gepakt (als in een poeder). Een definitie wordt gegeven van het begrip „willekeurige dichte pakking" (dense random packing), uitgaande van een verdelingsfunctie W voor viervlakken: ieder viervlak heeft zijn hoekpunten in de centra van vier bollen, waarbij ieder dezer bollen de andere drie raakt. W is dus een functie van vier stralen. Randeffecten worden verwaarloosd. Er worden algemene vergelijkingen voor W afgeleid en bovendien één van de mogelijke numerieke oplossingen voor het geval dat log r aan een normale

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

(Gauss) verdelingsfunctie voldoet. Uit deze oplossing kunnen een aantal belangrijke geometrische eigenschappen van de verzameling worden afgeleid, bijv. de gemiddelde dichtheid en het gemiddeld aantal tussenruimten alsook een statistische verdeling van de grootste bollen die de tussenruimten kunnen opvullen, en het gemiddeld aantal bollen dat een bol met gegeven straal raakt. Ten slotte wordt nagegaan in hoeverre dit model een werkelijk dicht gepakt poeder benadert. De mathematische methodes zijn interessant, bijv. wegens de toepassing van weinig bekende stereometrische formules en wegens integratiemethodes in 2, 3 en 4 dimensies.

R 199: J. Bakker: Kinetics of the emulsion polymerization of styrene (Dissertatie Utrecht, Philips Res. Rep. **7**, 344-400, 1952, No. 5).

De polymerisatiesnelheid van styreen in een emulsie is dilatometrisch bepaald. Tegelijkertijd is het eind van de incubatieperiode bepaald door de verandering van het electrische geleidingsvermogen van de emulsie te meten. De krommen die de omzetting als functie van de tijd weergeven, zijn S-vormig. De nauwkeurigheid van de metingen is ca. 5%, voornamelijk ten gevolge van de onzekerheid in het beginpunt van de reactie. Tot aan 50% omzetting kan de omzetting x als functie van de tijd t worden voorgesteld door de formule $x^{\frac{1}{2}}(1-x)^{-\frac{1}{2}} = t/t_h$, waarin t_h de tijd voorstelt die beantwoordt aan $x = \frac{1}{2}$. Bij andere zepen (lauraat, stearaat, oleaat) werden kleine afwijkingen van deze formule gevonden. Voor $x > \frac{1}{2}$ geldt de formule:

$$\frac{1-\varphi}{k}(x-\tfrac{1}{2}) - \frac{\varphi}{k}\ln[2(1-x)] + 1 = t/t_h,$$

waarin k vermoedelijk wel afhangt van de aard van de zeep, maar niet van de hoeveelheden zeep en katalysator. φ is een constante, die specifiek is voor het gebruikte monomeer. Bij kaliummyristaat als emulgator werd voor k de waarde $1{,}10 \pm 0{,}07$ gevonden. Deze parameter houdt verband met het aantal latexdeeltjes. Daardoor is het mogelijk dit aantal te bepalen. Bij gelijke hoeveelheden monomeer en water bestaat een verband tussen de halveringstijd t_h en de hoeveelheden zeep (S) en katalysator (R) van de gedaante $t_h = \text{const.} \times (SR)^{-3/5}$. Het tijdstip waarop de incubatietijd eindigt (t^*) blijkt practisch onafhankelijk te zijn van S maar af te hangen van R volgens $t^* = \text{const.} \times R^{-2/5}$ (of, na correctie van de t^*-waarden op theoretische gronden, volgens $t^* = \text{const.} \times R^{-3/5}$). Dit gaat op zolang als het gewicht aan zeep niet meer bedraagt dan 15% van dat van het monomeer. Bij overschrijding van dit bedrag verdwijnen de micellen niet meer geheel uit de oplossing. Uit overwegingen in verband met de initiatietheorie van Smith en Ewart werd een tweede methode afgeleid om het aantal latexdeeltjes te bepalen. In combinatie met de eerste methode volgt hieruit een waarde voor het oppervlak ω_0 dat door één zeepmolecuul wordt ingenomen. Voor kaliummyristaat werd gevonden $\omega_0 = 35 \pm 6$ Å^2. Onderzoek betreffende het beginstadium van de reactie bracht aan het licht dat t_h niet alleen zou moeten afhangen van de specifieke eigenschappen van de zeep maar ook van de beginhoeveelheid m_0 van het monomeer en van het volume V van de waterphase. Experimenteel bleek echter binnen het onderzochte gebied t_h onafhankelijk te zijn van V, maar evenredig met $m_0^{\frac{1}{2}}$. Verder onderzoek zal nodig zijn om het gedrag van t_h buiten dit gebied vast te stellen. Metingen betreffende de polymerisatiegraad van de verkregen polymeren leidden tot de conclusie dat deze bepaald wordt door de overdracht van ketens, hetgeen in overeenstemming te brengen is met de opvattingen over het mechanisme van het afbreken van ketens bij de emulsiepolymerisatie. Bij geen van de experimenten werd gebruik gemaakt van „regelaars".

Verschenen is:

Rekstrookjes-meettechniek, door J. J. Koch en R. G. Boiten (T.N.O.), en H. J. Lindenhovius, A. L. Biermasz, G. P. Roszbach en G. W. van Santen (Philips). — Uitg. N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven. 64 blz., 65 figuren.

Deze „verhandeling over de theorie en de practische toepassing van rekstrookjes en de daarbij behorende meettoestellen" — zoals de ondertitel luidt — richt zich tot de toekomstige gebruikers van rekstrookjes voor het onderzoek van mechanische spanningen. Ze geeft in kort bestek een zo volledig mogelijke beschrijving van de meettechniek voor dit belangrijke nieuwe hulpmiddel en van alles wat daarmee samenhangt. Het boek wil een leergang zijn, waarin aan de hand van een ruim vierjarige ervaring al die kwesties worden behandeld die voor een succesvol werken met rekstrookjes bekend moeten zijn.

Het tot stand komen van dit boek is een der resultaten van een samenwerking tussen de Nijverheidsorganisatie Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (Werkgroep Spannings- en Trillingsonderzoek) te Delft en de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!